

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**  
(повна назва інституту/факультету)  
**КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В. о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) О. В. Лебедєв  
(ініціали, прізвище)

“ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Дипломна робота**  
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.051402 «Біомедична інженерія»  
(код та назва)

на тему: «Програмно-апаратний комплекс для дослідження впливу аудіосигналів на функціональний стан ЦНС»

Виконала: студентка 4 курсу, групи БМ-51  
(шифр групи)

Берестюк Катерина Русланівна  
(прізвище, ім'я, по батькові) \_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник ст. викл. каф. БМІ, Овчаренко Г. Р.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант 5 доц.каф. ОПЦБ, к.т.н., доц. Демчук Г.В  
(номер розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Нормоконтроль інженер 1 категорії Андрєєв П. І.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент зав. каф. ББЗЛ, д.м.н., проф. Худецький І. Ю.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі  
немає запозичень з праць інших авторів  
без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

|                     |  |
|---------------------|--|
| Факультет           | <u>Біомедичної інженерії</u>           |
| Кафедра             | <u>Біомедичної інженерії</u>           |
| Рівень вищої освіти | <u>Перший (бакалаврський)</u>          |
| Напрямок підготовки | <u>6.051402 «Біомедична інженерія»</u> |

ЗАТВЕРДЖУЮ  
В. о. завідувача кафедри  
О. В. Лебедєв  
(підпис) (ініціали, прізвище)  
“    ”                      2019 р.

## **ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

Берестюк Катерині Русланівні

1. Тема роботи: Програмно-апаратний комплекс для дослідження впливу аудіосигналів на функціональний стан ЦНС  
керівник роботи Овчаренко Ганна Романівна, ст. викладач каф. БМІ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом по університету від « 27 » травня 2019 р. № 1404-с
2. Строк подання студентом роботи 10 червня 2019 року
3. Вихідні дані до роботи: нормативні документи, електронні підручники, друковані видання, програмно-апаратний комплекс Tredex та інструкція з його експлуатації, пакет прикладних програм MATLAB 2018, набір бібліотек .NET Framework для розробки програмного забезпечення для середовища Microsoft Windows.
4. Зміст дипломної роботи: аналітичний огляд літератури, підбір матеріалів для дослідження, проведення експериментального дослідження та аналіз результатів, розробка програмно-апаратного комплексу, розробка методики застосування комплексу, проведення експериментального дослідження та аналіз результатів.
5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація у MS Power Point.

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---------------|---|----------------|------------------|
|               |   | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці | Демчук Г. В. доц. каф. ОПЦБ               |                |                  |

## 7. Дата видачі завдання 25 лютого 2019 року

### Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломної роботи                       | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1     | Огляд літературних джерел                                     | Лютий-березень 2019 р.        |          |
| 2     | Визначення матеріалів та методів дослідження                  | Березень-квітень 2019 р.      |          |
| 3     | Проведення експериментального дослідження                     | Квітень 2019 р.               |          |
| 4     | Обробка та аналіз результатів                                 | Травень 2019 р.               |          |
| 5     | Розробка програмної реалізації фільтрації сигналу             | Травень 2019 р.               |          |
| 6     | Розробка програми для оцінки стану ЦНС                        | Травень 2019 р.               |          |
| 7     | Розробка методики застосування програмно-апаратного комплексу | Травень 2019 р.               |          |
| 8     | Проведення повторного експериментального дослідження          | Травень 2019 р.               |          |
| 9     | Обробка та аналіз результатів                                 | Травень-червень 2019 р.       |          |
| 10    | Оформлення розділу «Охорона праці»                            | Травень-червень 2019 р.       |          |
| 11    | Оформлення пояснювальної записки                              | Червень 2019 р.               |          |
| 12    | Подання дипломної роботи на нормоконтроль                     | Червень 2019 р.               |          |
| 13    | Подання пакету документів по дипломній роботі                 | Червень 2019 р.               |          |
| 14    | Підготовка до захисту ДР                                      | Червень 2019 р.               |          |
| 15    | Захист дипломної роботи                                       | Червень 2019 р.               |          |

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

К. Р. Берестюк  
(ініціали, прізвище)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Г. Р. Овчаренко  
(ініціали, прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Дипломна робота налічує 65 сторінки, 20 ілюстрацій, 16 таблиць, 3 додатки. Загалом опрацьовано 40 літературних джерел.

Тема роботи: програмно-апаратний комплекс для дослідження впливу аудіосигналів на функціональний стан ЦНС.

Метою роботи є розробка та реалізація програмно-апаратного комплексу для дослідження впливу звукових стимулів із заданими частотними характеристиками на функціональний стан ЦНС та експериментальна перевірка роботи даного комплексу.

Було розроблено автоматизовану методику проведення дослідження психомоторних показників ЦНС, запропоновано застосування відфільтрованих сигналів для дослідження впливу аудіостимулів заданої частоти на електричну активність головного мозку та психофізіологічні показники.

Задачі роботи: проаналізувати сучасні дослідження впливу звукових стимулів з різними характеристиками на електричну активність головного мозку та психофізіологічні показники; розробити програмно-апаратний комплекс, що дозволяє об'єктивно дослідити вплив аудіостимулів із заздалегідь заданими частотними характеристиками на функціональний стан ЦНС; експериментально перевірити роботу розробленого комплексу.

Результати впроваджено: публікація тез в збірнику «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». 2019 р. Ч. III; подана до друку стаття у другому номері науково-практичного журналу «Біомедична інженерія і технологія».

Ключові слова: програмно-апаратний комплекс, функціональний стан ЦНС, психомоторні показники, теппінг-тест, звуковий стимул, фільтрація сигналу, діапазон частот, MATLAB, C#, електроенцефалографія, ритми ЕЕГ.

## SUMMARY

The graduate work consists of 65 pages, 20 illustrations, 16 tables, 3 annexes. In total, 40 literary sources have been processed.

Theme of work: software and hardware complex for the impact research of audio signals on the CNS state.

The purpose of the work is to develop and implement a software and hardware complex for studying the impact of sound stimuli with given frequency characteristics on the functional state of the central nervous system and experimental verification the work of this complex.

An automated technique for conducting research on the psychomotor indexes of the central nervous system was developed, and the use of filtered signals for the study of the effect of the acoustic stimuli of the given frequency on the electrical activity of the brain and psychophysiological indicators was proposed.

Tasks of the work: to analyze modern studies of the influence of sound stimuli with different characteristics on the electrical activity of the brain and psychophysiological indicators; to develop software and hardware complex, which allows to objectively investigate the effect of audio stimuli with predefined frequency characteristics on the functional state of the central nervous system; experimentally check the work of the developed complex.

The results are implemented: publication of theses in the collection "Information technologies: science, technology, technology, education, health". 2019 Ch. III; a paper was published in the 2nd issue of the scientific and practical journal "Biomedical Engineering and Technology".

Key words: software and hardware complex, functional state of the central nervous system, psychomotor characteristics, tapping test, sound stimulus, signal filtration, frequency range, MATLAB, C#, electroencephalography, EEG rhythms.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....   | 8  |
| ВСТУП .....  | 9  |
| РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ .....  | 11 |
| 1.1    Фізіологічні основи сприйняття звуку.....   | 11 |
| 1.2    Основні напрями сучасних досліджень впливу звукових стимулів на роботу головного мозку людини ..... | 13 |
| 1.3    Методи аналізу електричної активності мозку.....  | 14 |
| 1.4    Методи оцінки та фільтрації аудіосигналів .....   | 18 |
| 1.5    Методи дослідження функціонального стану ЦНС .....  | 21 |
| Висновок до розділу 1 .....  | 22 |
| РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЧАСТОТНИХ ДІАПАЗОНІВ АУДІОСТИМУЛІВ .....                                     | 23 |
| 2.1    Матеріали і методи дослідження.....   | 23 |
| 2.2    Результати дослідження .....  | 26 |
| Висновок до розділу 2 .....  | 29 |
| РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ .....   | 30 |
| 3.1    Програмна реалізація фільтрації аудіосигналу.....   | 31 |
| 3.2    Програмний метод дослідження функціонального стану ЦНС.....   | 33 |
| Висновок до розділу 3 .....  | 36 |

|           |      |                 |        |      |  |  |  |   |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--|--|--|---|------|---------|
|           |      |                 |        |      | БМ51.01.2705.1404.ПЗ   |  |  |   |      |         |
|           |      |                 |        |      |  |  |  |   |      |         |
| Вим       | Лист | № докум.        | Підпис | Пата | Програмно-апаратний комплекс для дослідження впливу аудіосигналів на функціональний стан ЦНС |  |  | Літ.                                    | Лист | Аркушів |
| Розробив  |      | Берестюк К. Р.  |        |      |  |  |  |   |      |         |
| Перевірів |      | Овчаренко Г. Р. |        |      |  |  |  |   | 6    | 65      |
| Реценз.   |      | Худецький І. Ю. |        |      |  |  |  | КПІ ім. Ігоря Сікорського<br>ФБМІ БМ-51 |      |         |
| Н. Контр. |      | Андреев П. І.   |        |      |  |  |  |   |      |         |
| Затвердив |      | Лебедев О. В.   |        |      |  |  |  |   |      |         |

|  |    |
|--|----|
| РОЗДІЛ 4 ПЕРЕВІРКА РОБОТИ КОМПЛЕКСУ .....          | 38 |
| Висновок до розділу 4 .....                        | 43 |
| РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ .....                       | 44 |
| 5.1 Характеристика приміщення .....                | 44 |
| 5.2 Оцінка небезпечних та шкідливих факторів ..... | 47 |
| Висновок до розділу 5 .....                        | 50 |
| ВИСНОВКИ.....                                      | 51 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                    | 53 |
| Додаток А.....                                     | 59 |
| Додаток Б .....                                    | 60 |
| Додаток В.....                                     | 63 |
| Додаток Г .....                                    | 64 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

|     |                                       |
|-----|---------------------------------------|
| АЦП | – аналогово-цифровий перетворювач.    |
| АЧХ | – амплітудно-частотна характеристика. |
| ЕЕГ | – електроенцефалограма.               |
| ЗФ  | – загороджувальний фільтр.            |
| ОП  | – охорона праці.                      |
| ПАК | – програмно-апаратний комплекс.       |
| СФ  | – смуговий фільтр.                    |
| ФВЧ | – фільтр високих частот.              |
| ФНЧ | – фільтр низьких частот.              |
| ЦНС | – центральна нервова система.         |

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БМ51.01.2705.1404.ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                      |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                      | 8    |



## ВСТУП

Сьогодні доведений [1-7] значний вплив звукових стимулів на діяльність центральної нервової системи (далі – ЦНС) та зміни психофізіологічних показників організму людини. Отримані результати, що свідчать про поліпшення пам'яті та інтелекту після сеансів прослуховування класичних музичних композицій, зміни коефіцієнту концентрації уваги та ін. Проте в літературі зазвичай вказуються лише загальні характеристики музичних композицій: темп, тональність, назва, жанр і т. п. Тому важливо визначити, які саме характеристики звукових стимулів та як впливають на діяльність головного мозку людини, а також дослідити цю реакцію на зазначені характеристики.

Актуальність теми. У сучасних дослідженнях впливу звукових стимулів на психофізіологічні показники та електричну активність головного мозку використовують різні музичні композиції, підібрані за наявності тих чи інших характеристик. Проте у використанні різних аудіосигналів є суттєвий недолік – вплив на результати сторонніх факторів, таких як суб'єктивне сприйняття амплітуди сигналу, тональності, ритму, наявності того чи іншого музичного інструменту в композиції та ін. Тому важливо при дослідженні впливу певних характеристик мінімізувати різницю між аудіостимулами.

Метою роботи є розробка та реалізація програмно-апаратного комплексу для дослідження впливу звукових стимулів із заданими частотними характеристиками на функціональний стан ЦНС та перевірка роботи даного комплексу у експериментальному дослідженні.

Задачі:

– проаналізувати сучасні дослідження впливу звукових стимулів з різними характеристиками на електричну активність головного мозку та психофізіологічні показники;

- обґрунтувати застосування аудіостимулів певного частотного діапазону на основі попередніх досліджень впливу звукових стимулів на електричну активність головного мозку;
- розробити програмну реалізацію фільтрації аудіосигналу в заданому частотному діапазоні із мінімізацією впливу сторонніх факторів;
- розробити програму для дослідження функціонального стану ЦНС методом розрахунку психомоторних показників;
- розробити методику застосування програмно-апаратного комплексу з урахуванням послідовності дослідження психомоторних функцій та мінімізації сторонніх факторів сприйняття аудіостимулів;
- провести експериментальне дослідження можливості застосування програмно-апаратного комплексу.

Практичне застосування: запропонований програмно-апаратний комплекс (далі – ПАК) може бути використаний у подальших дослідженнях, незалежно від кількості аудіостимулів, що плануються у застосуванні, діапазону частот, необхідних для дослідження та ін. Він дозволяє розглянути зміни реакції в залежності від впливу частот різних діапазонів без впливу факторів суб’єктивного сприйняття стимулу.

## РОЗДІЛ 1

### ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

#### 1.1 Фізіологічні основи сприйняття звуку

Звук – це коливальний рух часток пружного середовища, який поширюється у вигляді хвиль у різних середовищах: газі, рідині чи твердому тілі. У вузькому значенні цим терміном визначають коливання, які сприймаються сенсорною системою (органами слуху) тварин і людини. У такому випадку говорять саме про збурення, що поширюються в повітрі [8].

Органи слуху людини сприймають звуки у визначеному частотному діапазоні: коливання, передані по повітрю, у діапазоні частот від 16 Гц до 20 кГц [9]. Його називають чутним діапазоном. Границі чутності визначені не строго і змінюються від людини до людини. Причому поняття про звук охоплює пружні хвилі як чутного, так і не чутного діапазону. Звуки з частотами до 16 Гц називаються інфразвуком, понад 20000 Гц – ультразвуком. Звуки з частотою  $10^9$ – $10^{13}$  Гц називають гіперзвуком [10].

Тривалий вплив звуком нечутного діапазону великої інтенсивності може нанести шкоду організму людини: ультразвук викликає функціональні порушення нервової системи, головний біль, зміни артеріального тиску, складу і властивостей крові, може зумовлювати втрату слухової чутливості та підвищену втомлюваність. Інфразвук особливий вплив чинить на психічну сферу людини: уражає усі види інтелектуальної діяльності, погіршує настрій, іноді з'являється відчуття розгубленості, тривоги, переляку, страху, а при високій інтенсивності – почуття слабкості, як після сильного нервового потрясіння. Високий рівень інфразвуку викликає порушення функцій вестибулярного апарату, зумовлюючи тим самим запаморочення, головний біль. Навіть слабкі інфразвуки можуть чинити на людину істотний вплив, особливо якщо носять тривалий характер [11].

Найбільший ступінь чутливості знаходиться в межах від 1000 до 3000 Гц. Ледь відчутне звучання мінімальної сили звуку називається порогом чутності. У міжнародному стандарті ISO / R-226 зазначені наступні значення порогів чутності (рис. 1.1) [12]:

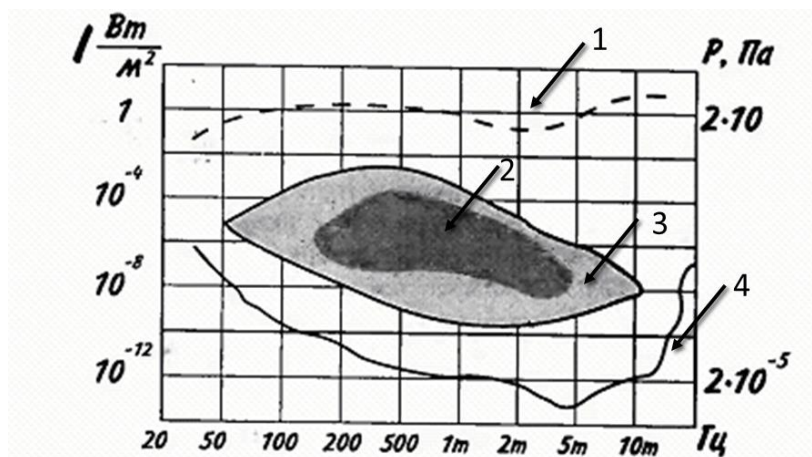


Рисунок 1.1 – Динамічний діапазон звуку: 1 – больовий поріг; 2 – область мовних звуків; 3 – область музичних звуків; 4 – поріг чутності

Основна енергія області слухового сприйняття музики знаходиться в межах від 40 до 5000 Гц, а за тиском від 40 до 100 дБ. З віком ця область сприйняття звуків зменшується, втрачаючи яскравість (сприйняття верхнього частотного діапазону). Проте в цілому це не впливає на прослуховування музики в будь-якому віці.

Що стосується мови, то основна енергія області її слухового сприйняття знаходиться в діапазоні частот від 500 до 600 Гц і тиску від 50 до 90 дБ. Динамічний діапазон тихого шепоту становить 10-15 дБ, а гучного мовлення – 25 дБ.

Абсолютний поріг чутності залежить від тривалості сигналу. Це мінімальний рівень звуку, потрібний, щоб викликати слухове відчуття у відсутності шуму. Значення його залежить від тону звуку (частота, тривалість, форма сигналу), методу його подання і суб'єктивних особливостей слухового аналізатора. Абсолютний поріг чутності з віком зменшується.

Слуховий аналізатор здатен фіксувати навіть незначні зміни частоти звукового сигналу, тобто володіє вибірністю. Даний параметр залежить від рівня звукового тиску, частоти і тривалості звукового сигналу. Мінімально помітні розрізнення становлять 2-3 Гц на частотах не менш 10 Гц. Для частот більше 10 Гц вони становлять близько 0,3 % частоти звукового сигналу [12].

## 1.2 Основні напрями сучасних досліджень впливу звукових стимулів на роботу головного мозку людини

Дослідження змін психоемоційних станів людини із використанням різних звукових стимулів на сьогодні набуло широкої популярності [1, 2, 3]. За допомогою музики намагаються здійснювати психокорегуючий вплив на особистість [4], досліджують зміну електричної активності головного мозку в залежності від статі [1], стилю музики [2] та багатьох інших факторів. У дослідженнях також було виявлено діапазон частот звукового стимулу, що чинять значущий вплив на зміни електричної активності головного мозку [5, 6, 7].

Японські вчені дослідили [13] зв'язок між корковою реакцією і знайомством зі звуковим стимулом. Учасники показали два яскраво виражені піки у часі запізнення на ЕЕГ близько 70 і 140 мс. Результати вказують, що відповідь на незнайомий чи зашифрований звуковий стимул сильніша, ніж на знайомий. Пізніше було досліджено [14], що рівень уваги не впливає на сприйняття нових звукових стимулів, які однаково діють на кору, незалежно від того, на чому сконцентована увага людини.

Також швейцарськими дослідниками було розглянуто [15] активацію мозку при двох умовах: прослуховування і одночасне оцінювання звукового стимулу, що відтворюється [Listening and Rating (LR)] і необмежене прослуховування [Listening (L)], та перевірено вплив послідовності цих умов

( $LR \rightarrow L$ ,  $L \rightarrow LR$ ) на активацію мозку під час L-стану. Тривимірний ANOVA виявив значний головний ефект, який пояснюється зниженням потужності ЕЕГ під час стану LR, при незначному її збільшенні для L стану. Дані свідчать, що потужність всіх досліджуваних частотних діапазонів збільшувалася для стану L лише у випадку ( $L \rightarrow LR$ ), тоді як для випадку ( $LR \rightarrow L$ ) – залишалася незмінною. Результати свідчать, що першочерговий аналіз стимулу суб'єктом унеможливив неперервне прослуховування того ж стимулу.

Сучасні дослідження [16, 17] відкривають багато можливостей для подальшого вивчення впливу звукових стимулів на діяльність та активність мозку, а також зміни психофізіологічних показників організму людини внаслідок прослуховування звукових стимулів з різними характеристиками.

### 1.3 Методи аналізу електричної активності мозку

Метод електроенцефалографії на сьогодні є одним із основних методів дослідження роботи головного мозку, що заснований на реєстрації біопотенціалів мозку. Він відображає мінімальні зміни функції кори головного мозку та глибинних мозкових структур, забезпечуючи мілісекундне тимчасове розширення, яке є недоступним для інших методів дослідження мозкової активності, а також дає можливість якісного та кількісного аналізу функціонального стану головного мозку і реакції на дії подразників. Запис електроенцефалографії традиційно представляється у вигляді кривої потенціал/час – електроенцефалограми (далі – ЕЕГ), що відображає стан головного мозку людини і рівень його свідомості [18].

Сучасні електроенцефалографи – це багатоканальні реєструючі пристрої, що поєднують в собі від 8 до 24 ідентичних підсилювальних блоків (каналів). Структурну схему сучасного цифрового електроенцефалографу можна бачити на рис. 1.2.

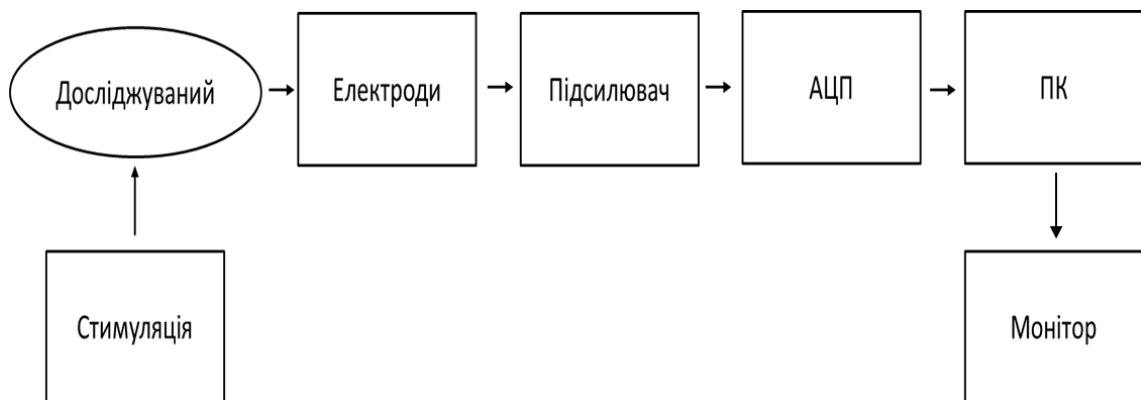


Рисунок 1.2 – Структурна схема застосування ПАК «ExpertTM»

Найбільш широко використовуваний метод розміщення електродів на скальпі – міжнародна система «10-20» (рис. 1.3), що заснована на відношенні між розташуванням електродів і основними областями кори мозку [19].

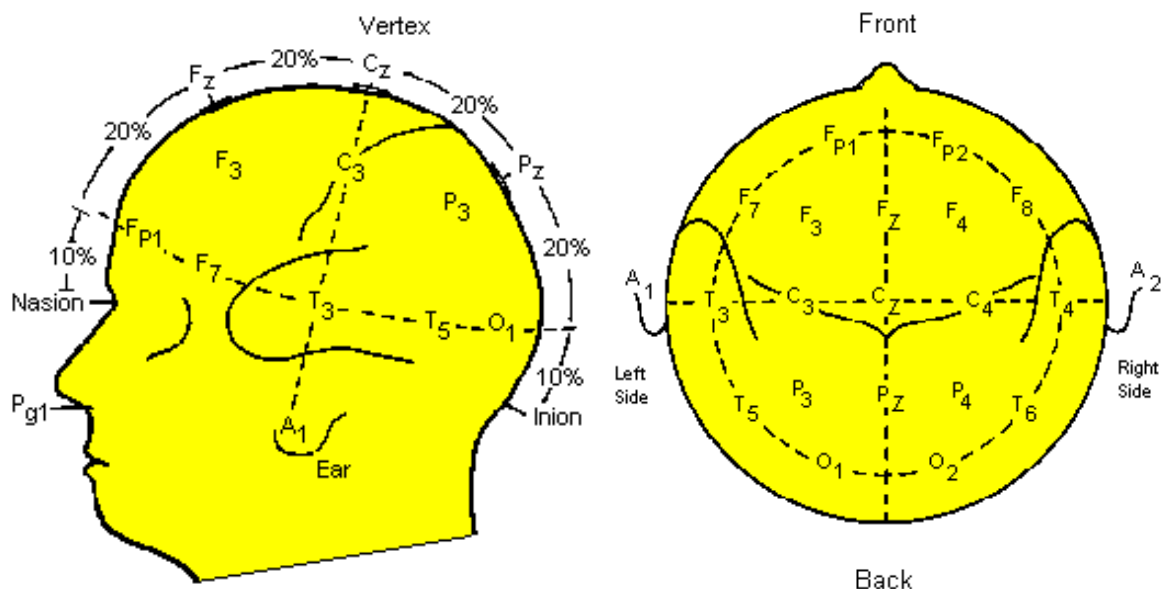


Рисунок 1.3 – Міжнародна схема розміщення електродів «10-20» [19]

Місце розташування електродів визначається наступним чином: лінія, що з'єднує переносицю (Nasion) і потиличний бугор (Inion), ділиться на 10 рівних частин. Перший і останній електроди розташовують на відстані, що становить 10% загальної довжини лінії, від ініона або назіона. Тоді від першого електрода на відстань, відповідну 20% загальної довжини лінії, накладається наступний електрод і т. д.

Кожен електрод має символ і номер, щоб ідентифікувати місце його накладання. Літери F, T, C, P і O позначають лобове, скроневе, центральне, тім'яне і потиличне відведення відповідно. Парні числа (2, 4, 6, 8) відносяться до правої півкулі, а непарні (1, 3, 5, 7) – до лівої. Z відноситься до електрода, розміщеного на середній лінії. Також, чим менше число, тим ближче позиція до середньої лінії.

Методика обробки ЕЕГ використовує два види відведень: монополярні і біполярні. Суть монополярного знімання в тому, що реєстрація відбувається відносно однієї, референтної точки. Вона, як правило, розташовується на вусі (чи обох вухах), лобі, або потилиці пацієнта і не змінює свого положення протягом всього дослідження. При біполярному відведенні відбувається реєстрація різниці потенціалів будь-якої пари точок з голови досліджуваного.

Як і для будь-якого коливального процесу, характеристика ЕЕГ спирається на такі основні поняття як частота, амплітуда і фаза. Проте, оскільки ЕЕГ являє собою випадковий процес, на кожній ділянці запису наявні хвилі різних частот. Відповідно, основою аналізу є виділення окремих частотних ритмів з сигналу.

Під поняттям частотного ритму ЕЕГ вважають певний тип електричної активності, для якого визначено межі діапазону частот, відповідний окремому стану мозку [20]. У таблиці 1.1 представлені короткі характеристики основних ритмів, їх частоти та амплітуди [21].

Таблиця 1.1 – Характеристика основних ритмів головного мозку

| Ритм                | Частота | Амплітуда  | Загальна характеристика   |
|---------------------|---------|------------|---|
| Дельта ( $\delta$ ) | 1-4 Гц  | 20-200 мкВ | Дельта-ритм (повільні хвилі) пов'язаний з відновлювальними процесами і низьким рівнем активації, особливо під час сну. Виникає при природному та наркотичному сні. Спостерігається при реєстрації від ділянок кори, що граничать з областю, ураженою пухлиною. Надлишок посиленних повільних хвиль фактично гарантує наявність певних порушень уваги та інших когнітивних функцій. При багатьох неврологічних порушеннях дельта-хвилі також помітно посилені. |



Продовження таблиці 1.1

| Ритм                          | Частота                      | Амплітуда                    | Загальна характеристика  |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| Тета ( $\theta$ )             | 4-8 Гц                       | 20-100 мкВ                   | Тета-хвилі з'являються, коли спокійний, розслаблений стан переходить у сонливість та реєструється у фронтальних зонах і гіпокампі. Електричні коливання в головному мозку стають більш ритмічними та повільними. Цей стан також називають «сутінковим», оскільки людина знаходиться між сном та дійсністю. У нормі тета-хвилі пов'язують зі зміною стану свідомості. Часто він супроводжується несподіваними, сноподібними образами, супроводжуваними яскравими спогадами. Більшість людей засинають тоді, як у головному мозку з'являється значна кількість тета-хвиль. Даний ритм пов'язують також із пошуковою поведінкою, він посилюється при емоційних напруженнях, спостерігається при психотичних порушеннях та станах сплутаності свідомості або стресах мозку. Високий рівень тета-ритму може вказувати на стан сонливості та втоми, що може бути проявом хронічного стресу чи астенії. |
| Альфа ( $\alpha$ )            | 8-13 Гц                      | 5-100 мкВ                    | Альфа-ритм пов'язують із розслабленим станом спокою, що не супроводжується сном. Реєструється у 85-95% дорослих людей у нормі. Альфа-хвилі виникають при закритті очей в розслабленому стані. Реєструється зазвичай у тім'яній та потиличній областях (зорових відділах мозку).  |
| Бета 1 ( $\beta$ )            | 14-40 Гц                     | 3-7 мкВ<br>(буває до 20 мкВ) | Бета-хвилі є найшвидшими. Бета-ритм у нормі пов'язують із вищими когнітивними процесами, а також з фокусуванням уваги, в бадьорому стані у нормі з відкритими очима або при зосередженому вирішенні будь-яких проблем. Реєструється в області центральних та передніх звивин. Поширюється також на задні центральні і лобові звивини.  |
| Гама ( $\gamma$ )<br>(Бета 2) | > 30 Гц<br>(буває до 100 Гц) | До 15 мкВ                    | Зазвичай спостерігається при вирішенні задач, що вимагають максимальної зосередженості. Реєструється у фронтальній, прецентральної, тім'яній та скроневої зонах кори головного мозку.  |

На рисунку 1.4 представлено зображення основних ритмів ЕЕГ у стані нормального функціонування головного мозку. Для здорової притомної людини нормальною є переважання  $\alpha$ -ритму, тоді як присутність на ЕЕГ коливань інших частотних діапазонів є ознакою патології або певних змін у свідомості. За формою кривої також можна судити про наявність патологічних змін у роботі головного мозку.

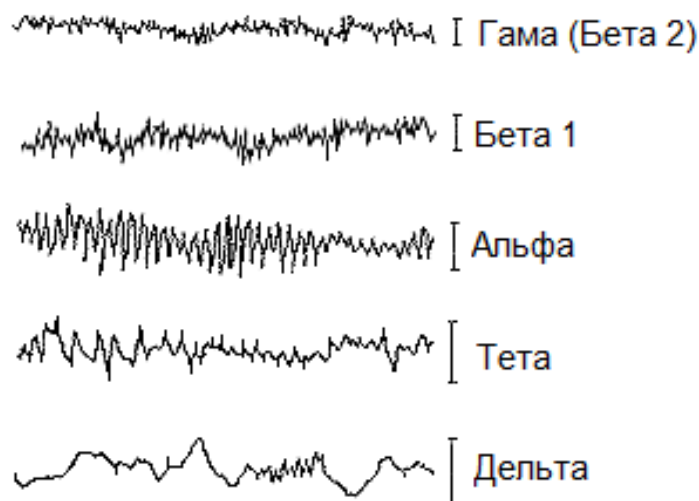


Рисунок 1.4 – Основні ритми головного мозку [22]

Відповідність даних ритмів нормі визначають в залежності від частотного діапазону, амплітуди, а також форми кривої, топографії та наявності нетипових піків на ЕЕГ.

#### 1.4 Методи оцінки та фільтрації аудіосигналів

Будь-який складний періодичний сигнал може бути поданий з допомогою ряду Фур'є сумою простих гармонічних коливань. Ця сукупність, на які може бути розкладений сигнал, називається спектром. Розподіл амплітуд гармонік за частотою називається амплітудно-частотним спектром або амплітудним спектром, а розподіл їхніх початкових фаз за частотою – фазочастотним спектром або фазовим спектром [23].

Рівень спотворення синусоїдальних сигналів оцінюється за допомогою певного набору характеристик, таких як амплітудно-частотна характеристика (далі – АЧХ), смуги пропускання та згасання на окремій частоті.

АЧХ вказує на те, як загасає амплітуда синусоїд на виході у порівнянні з амплітудою на вході для всього діапазону частот сигналу.

Смуга пропускання (bandwidth) – це неперервний діапазон частот, на якому відношення амплітуди вихідного сигналу до вхідного є більшим за певну межу, що зазвичай становить 0,5. Таким чином, вона визначає діапазон частот синусоїдального сигналу, на яких від без значних спотворень передається по лінії зв'язку. Дане поняття дає можливість отримати результат, близький до того, що дає амплітудно-частотна характеристика.

Загасання (attenuation) – це відносне зменшення амплітуди сигналу або його потужності при передачі по лінії зв'язку сигналу зазначеної частоти. Тобто в більшості випадків досить знати загасання на певній частоті, щоб мати можливість оцінити спотворення переданих по лінії сигналів. При достатній інформації про загасання одразу на декількох частотах можлива більш точна оцінка, що відповідає декільком основним гармонікам сигналу [24].

Однією з важливих можливостей роботи з сигналом є його фільтрація. Фільтрація сигналу – це зміна його спектру, що зазвичай застосовується задля збільшення відношення корисного сигналу до шумів і завад або підкреслення корисних якостей сигналу. В залежності від виду фільтра можна виділити або видалити окремий діапазон частот, заданий заздалегідь.

На рисунку 1.5 представлені амплітудно-частотні характеристики основних реальних фільтрів: по осі X відкладено частоти, а по осі Y – амплітуду сигналу (СП – смуга пропускання, ПС – перехідна смуга, СЗ – смуга затримки) [25].

Фільтр нижніх частот (дані – ФНЧ, low-pass filter) – має порівняно великий коефіцієнт передачі в частотах, що знаходяться в околі нульової, і порівняно низький на інших частотах (рис. 1.5a). Такі фільтри зберігають величину спектральних складових вхідного сигналу незмінною на низьких частотах. ФНЧ пропускають низькочастотні сигнали та не пропускають високочастотні.

Фільтр верхніх частот (далі – ФВЧ, high-pass filter) – має порівняно високий коефіцієнт передачі на частотах, вищих частоти зрізу  $f_p$ , і низький –

на частотах від нуля до  $f_p$  (рис. 1.5б). ФВЧ пропускають частину спектру вхідного сигналу, що знаходиться в межах від  $f_p$  до  $+\infty$  без змін, і не пропускають складові спектру сигналу від 0 до  $f_p$ , тобто пропускають високочастотні сигнали.

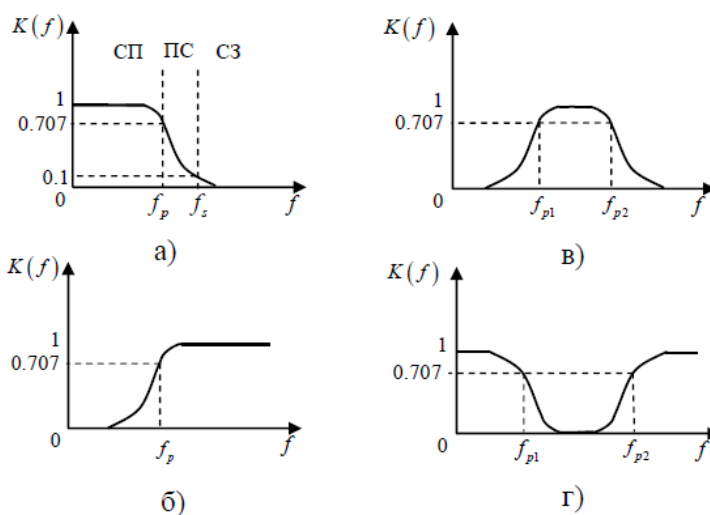


Рис. 1.5 – АЧХ реальних фільтрів:

- а) фільтр низьких частот, б) фільтр високих частот,  
в) смуговий фільтр, г) загороджувальний фільтр

Смуговий фільтр (далі – СФ, band-pass filter) – має великий коефіцієнт передачі тільки у визначеній смузі частот у межах від  $f_{p1}$  та  $f_{p2}$  (рис. 1.5в). За межами цього проміжку, коефіцієнт передачі близький до нуля. Отже, на вихід СФ пройдуть лише спектральні складові сигналу, що знаходяться у смузі пропускання фільтра.

Загороджувальний (режекторний) фільтр (далі – ЗФ, band-stop filter) – дуальний до смугового: має великий коефіцієнт передачі за межами частот від  $f_{p1}$  до  $f_{p2}$  (рис. 1.5г). Від нульової частоти до  $f_{p1}$ , та від  $f_{p2}$  до  $+\infty$  коефіцієнт передачі є порівняно великий. Тому при проходженні через ЗФ, із спектру сигналу видаляються складові, що лежать в межах від  $f_{p1}$  до  $f_{p2}$ , тоді як інші складові проходять на вихід фільтру без змін.

Фазовий фільтр (далі – ФФ, all-pass filter) – пропускає всі частоти сигналу з однаковим рівнем підсилення, але змінює фазу сигналу при зміні затримки пропускання по частотах. Зазвичай описується лише частотою, на якій фазове зміщення досягає  $90^\circ$ . Зазвичай такі фільтри використовуються для компенсації зайвих фазових спотворень, що виникають в системі. АЧХ сигналу при застосуванні даного фільтру залишається незмінною [26, 27].

Існують фільтри, що не належать до жодного з наведених вище типів. Проте в більшості випадків вимоги до амплітудно-частотних характеристик фільтрів потрапляють в один із типів, або являють собою їх комбінацію.

### 1.5 Методи дослідження функціонального стану ЦНС

Функціональний стан центральної нервової системи можна розглядати як інтегральний показник працездатності людини. Питання прогнозу, контролю та корекції функціонального стану людини мають велике теоретичне і практичне значення [28]. На сьогоднішній день існує багато методів його оцінки [28, 29]. Одним із важливих елементів дослідження зміни функціонального стану ЦНС є психомоторні показники. Вони можуть вказувати на силу або втомлюваність нервової системи і т. п.

Одним із методів дослідження зміни психомоторних показників ЦНС людини є теппінг-тест [30]. Класичним варіантом цієї методики є максимальний темп руху кістю опорної руки протягом 30 секунд. Досліджуваний повинен поставити як можна більше точок на 6 квадратах, розташованих проти часової стрілки – по 5 секунд у кожному квадраті. Далі ведеться підрахунок кількості точок у кожному з квадратів та побудова графіку працездатності випробуваного відповідно до отриманих результатів: проміжки часу – вісь абсцис, кількість точок – вісь ординат [30].

Однак існують дослідження, що не узгоджуються з класичним варіантом проведення тесту. Як пише автор книг і посібників з психомоторики В. В. Нікандров: «Методика розроблена кілька десятиліть тому, за цей час накопичено експериментальний матеріал, що не узгоджується з запропонованими графіками. Тому не можна при оцінці сили нервової системи спиратися виключно на тип графіка, необхідно використовувати й інші показники, застосовувати поряд з теппінг-тестом інші методики» [31]. Також багаторічна практика застосування теппінг-тесту виявила його особливу чутливість до ситуативного нервово-емоційного фону та до вихідного рівня психофункціонального стану. Внаслідок чого виникали ситуації, коли випробуваний показував щоразу різні типи графіків [32]. Це свідчить про необхідність модифікації даної методики.

#### Висновок до розділу 1

Аналіз сучасної літератури вказує на значний вплив музики на діяльність ЦНС. Так як реакція людського організму на звук суттєво залежить від його частотних характеристик, аудіостимули необхідно обирати опираючись на детальний його аналіз. Тому важливо визначити, які саме частоти, наявні в звуковому стимулі, впливають на активність мозку та на функціональний стан ЦНС.

Реакцію головного мозку людини на вплив доцільно оцінювати за його електричною активністю, що відображається на електроенцефалограмі.

Для об'єктивної оцінки функціонального стану ЦНС та його реакції на стимули, необхідно розробити методику збору психомоторних показників та відслідковування їх динаміки.

## РОЗДІЛ 2

### ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЧАСТОТНИХ ДІАПАЗОНІВ

### АУДІОСТИМУЛІВ

#### 2.1 Матеріали і методи дослідження

Було проведено експериментальне дослідження на 5 добровольцях віком від 20 до 21 року. З них 2 чоловіки та 3 жінки.

Дослідження проводилося з урахуванням діючого законодавства України в рамках проведення експериментальних досліджень з участю добровольців. Учасники були детально проінформовані про мету, суть та тривалість дослідження, мали можливість задати усі запитання, що їх цікавили. Кожен з учасників надав письмову «Згоду на обробку персональних даних».

Дані знімалися за допомогою програмно-апаратного комплексу «ЕкспертТМ» компанії TreDEX [33], до складу якого входять електроенцефалограф, електроенцефалографічний шолом, електроди, передавач та приймач сигналів ЕЕГ, зарядні пристрої та блоки живлення, антени, з'єднуючі кабелі та комп'ютер. В якості джерела звуку в комплексі було використано плеєр «iRiver T9 4GB» (рис. 2.1а) та вакуумні навушники «Panasonic RP-NJE118GU-K» (рис. 2.1б).



а)



б)

Рисунок 2.1 – Плеєр «iRiver T9 4GB» (а) та навушники «Panasonic RP-NJE118GU-K» (б)

У таблиці 2.1 подано основні характеристики плеєра.

Таблиця 2.1 – Характеристики плеєра «iRiver T9 4GB»

|                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| Тип носія               | Флеш пам'ять                  |
| Підтримка форматів      | MP3, WMA, WAV, ASF, FLAC, APE |
| Обсяг пам'яті           | 4 ГБ                          |
| Характеристики живлення | Літій-полімерна батарея       |
| Час неперервної роботи  | 24 год                        |
| Роз'єм для навушників   | mini-jack (3,5 мм)            |

Для проведення експерименту використано вакуумні навушники «Panasonic RP-NJE118GU-K», характеристики яких представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики вакуумних навушників «Panasonic RP-NJE118GU-K»

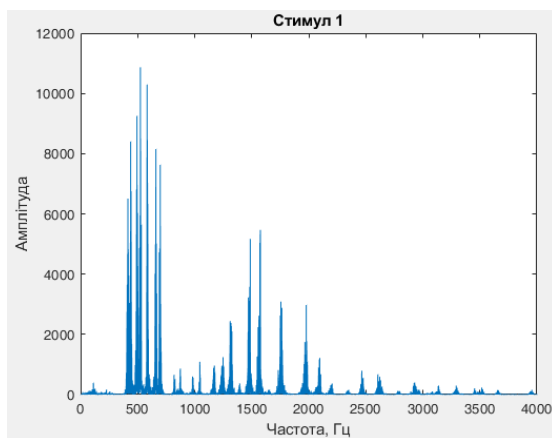
|  |                               |
|--|-------------------------------|
| Тип навушників                           | Вкладиші                      |
| Тип підключення                          | Дротове                       |
| Інтерфейс дротового підключення          | 1 x mini-jack (роз'єм 3.5 мм) |
| Діапазон частот навушників               | 12 Гц - 23 кГц                |
| Опір навушників                          | 16 Ом                         |
| Чутливість навушників                    | 96 дБ/мВт                     |
| Максимальна вхідна потужність навушників | 200 мВт                       |
| Діаметр мембран                          | 9 мм                          |
| Довжина дроту                            | 1.1 м                         |

На основі попередніх досліджень [5-7] було обрано частотний діапазон (250 – 2998 Гц), що чинить значущий вплив на зміни електричної активності головного мозку, та підібрано 5 відповідних звукових доріжок.

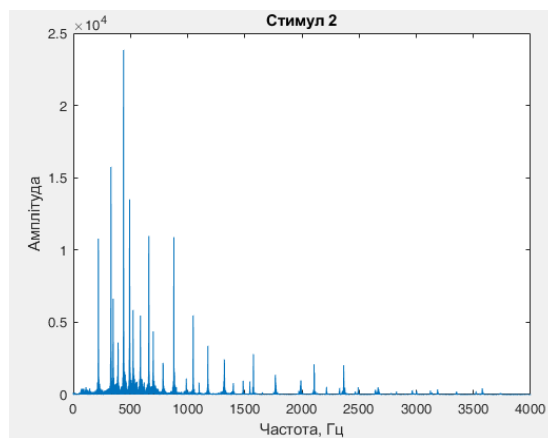
В якості аудіостимулів були використані мелодії, виконані на різних музичних інструментах, в яких переважає наявність середніх частот:

- кларнет (рис. 2.2а), наявні частоти від 450 до 2200 Гц;
- фортепіано (рис. 2.2б), наявні частоти від 200 до 2400 Гц;
- скрипка (рис. 2.2в), наявні частоти від 350 до 4000 Гц;
- фортепіано (рис. 2.2г), наявні частоти 500 до 1600 Гц;
- труба (рис. 2.2д), наявні частоти від 400 до 4000 Гц.

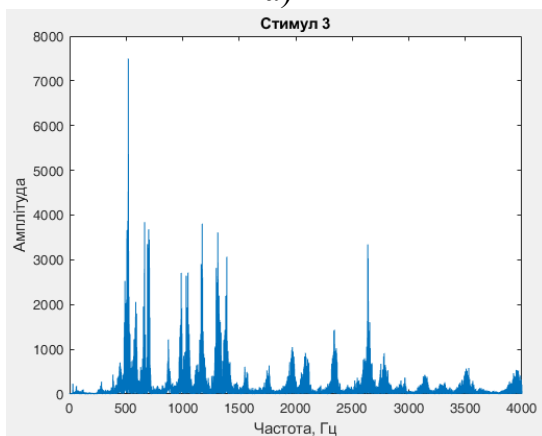




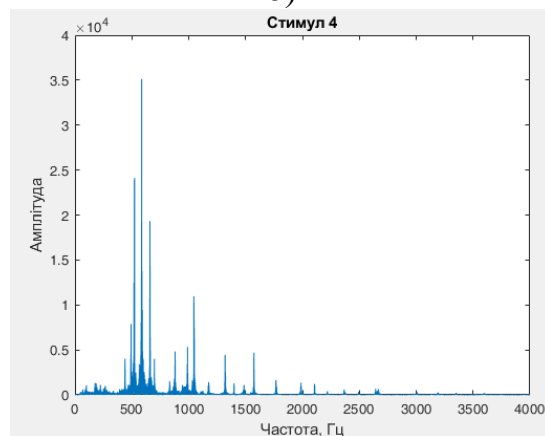
а)



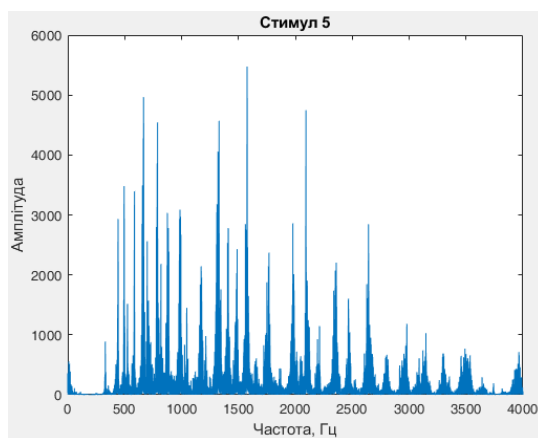
б)



в)



г)



д)

Рисунок 2.2 – Частотні характеристики досліджуваних стимулів:

а) стимулу №1, б) стимулу №2, в) стимулу №3, г) стимулу №4,

д) стимулу №5

Кожен з п'яти фрагментів музичних композицій було проаналізовано з допомогою середовища MATLAB 2018 [34].

Запис даних проводився при стандартній схемі розміщенні електродів за міжнародною системою «10-20», біполярна реєстрація відбувалася з допомогою референтних 16 електродів зі швидкістю 30 мм/с, амплітудою 50 мВ. Попередній аналіз результатів ЕЕГ проводився у програмному середовищі Expert\_NET, розробленому виробником енцефалографічного комплексу компанії Tredex

У дослідженні використано формуючий стимул загальною тривалістю 8 хв 21 с, який складався з 5 аудіостимулів. Розпочинався він фоновою тишею, що тривала 2 хв, після чого відбувалося чергування треку та 30-секундної фонової тиші. Закінчувався формуючий стимул фоновою тишею, тривалістю 1,5 хв.

## 2.2 Результати дослідження

В ході роботи було досліджено вклади ритмів, узагальнені по кожному відрізку формуючого стимулу: під час прослуховування аудіосигналу та під час фонової тиші. Отримані значення по всіх досліджуваних були нормовані відносно початкового. Вклади ритмів початкової фонової тиші були прийняті за еталонні для подальшого порівняння змін на усіх відрізках композиції.

Вклад ритмів у відсотковому значенні показує долю певного ритму серед усіх за обраний інформаційний відрізок, де 100% буде сума внеску усіх ритмів.

За наявність реакції приймалися однакові зміни вкладів ритмів у декількох досліджуваних.

Отримані результати було згруповано за наявністю однакової реакції в 3 окремі групи досліджуваних.

На рисунку 2.3 представлені зміни вкладів  $\beta_2$  ритму у відповідь на стимули, на рисунку 2.4 –  $\alpha$  ритму.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БМ51.01.2705.1404.ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                      |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                      | 26   |

Так, у першій виділеній групі досліджуваних спостерігалась реакція на усі стимули: збільшився вклад  $\beta_2$  ритму (рис. 2.3а) під час прослуховування першого стимулу у третього, четвертого та п'ятого досліджуваного на 0,275%, 0,28% та 0,215% відповідно, а також при прослуховуванні другого стимулу – на 0,33%, 0,68% та 0,47% для кожного з досліджуваних відповідно. У цій же групі спостерігається суттєве зниження вкладу  $\alpha$  ритму (рис. 2.4а) при прослуховуванні:

- стимулу №1 на 0,41% для третього, 3,265% для четвертого та 1.84% для п'ятого досліджуваного;

- стимулу №3 на 0,7%, 0,73% та 3,57% для кожного з досліджуваних відповідно;

- стимулу №5 на 4,76% для третього, 0,685% для четвертого та 0,845% для п'ятого досліджуваного.

У другій групі, спостерігалась реакція на перший, третій та четвертий стимули:

- збільшення вкладу  $\beta_2$  ритму під час прослуховування першого стимулу (рис. 2.3б) на 0,595% для другого, 0,275% для третього та 0,28% для четвертого досліджуваного, при одночасному зменшенні вкладу  $\alpha$  ритму (рис. 2.4б) на 3,675%, 0,41% та 3,265% для кожного з досліджуваних відповідно;

- зменшення вкладу  $\alpha$  ритму при прослуховуванні третього стимулу (рис. 2.4б) на 1,7% для другого, 0,7% для третього та 0,73% для четвертого досліджуваного;

- зменшення вкладу  $\beta_2$  ритму під час прослуховування четвертого стимулу (рис. 2.3б) на 1,38% для другого, 1,355% для третього та 0,935% для четвертого досліджуваного, при одночасному підвищенні вкладу  $\alpha$  ритму (рис. 2.4б) на 1,49%, 3,76% та 7,66% відповідно.

У третій виділеній групі досліджуваних спостерігалась реакція на перший, третій та п'ятий стимули:

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БМ51.01.2705.1404.ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                      |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                      | 27   |

– при прослуховуванні першого стимулу відбувалося збільшення вкладу  $\beta 2$  ритму (рис. 2.3в) на 0,595% для другого, 0,28% для четвертого та 0,215% для п'ятого досліджуваного, при одночасному зменшенні вкладу  $\alpha$  ритму (рис. 2.4в) на 3,675%, 3,265% та 1,84% для кожного з досліджуваних відповідно;

– при прослуховуванні третього стимулу спостерігалась аналогічно реакція, що й при першому стимулі: зменшення вкладу  $\beta 2$  ритму (рис. 2.3в) на 0,715% для другого, 1,125% для четвертого та 0,785% для п'ятого досліджуваного, при одночасному зниженні вкладу  $\alpha$  ритму (рис. 2.4в) на 1,7%, 0,73% та 3,59% для кожного з досліджуваних відповідно;

– при прослуховуванні п'ятого стимулу відбувалося зменшення вкладу  $\alpha$  ритму (рис. 2.4в) на 0,905% для другого, 0,685% для четвертого та 0,845% для п'ятого досліджуваного.

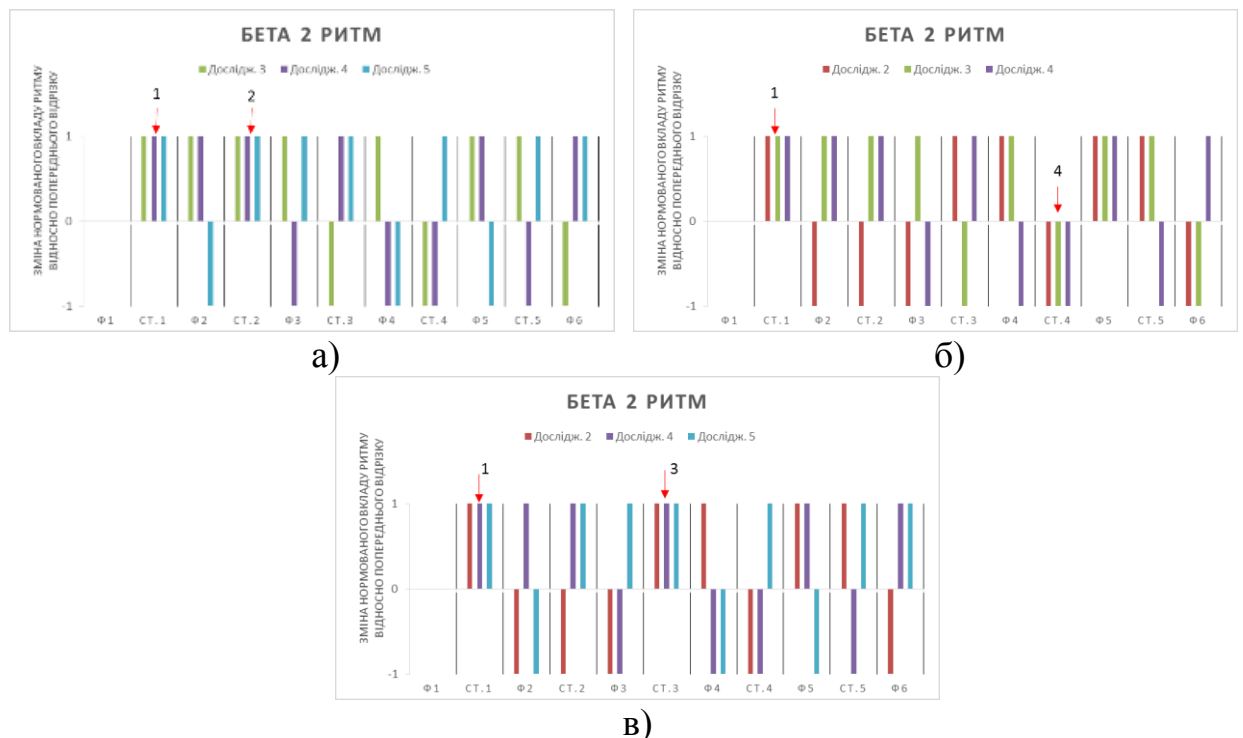
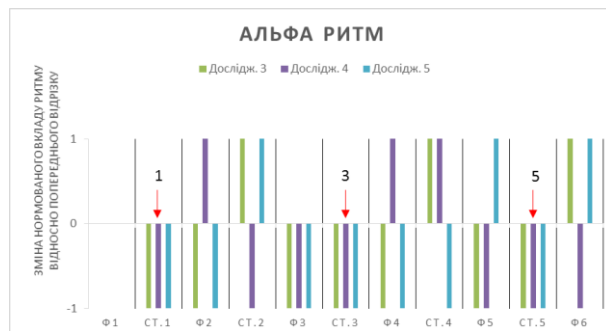
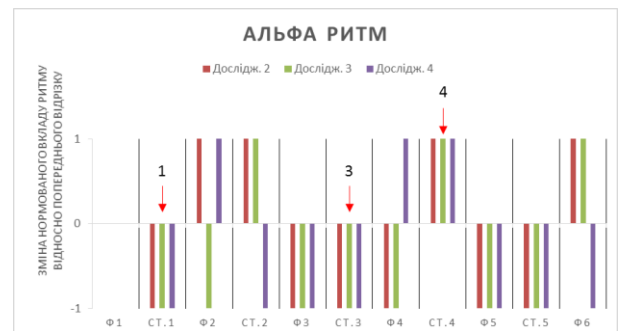


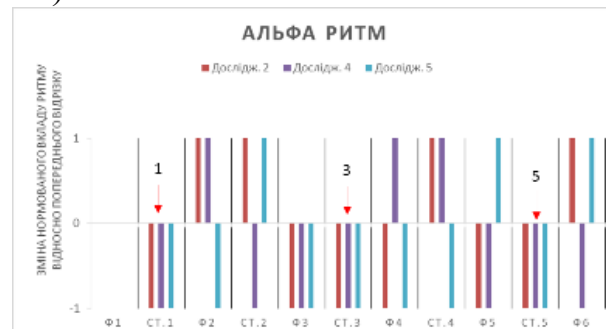
Рисунок 2.3 – Зміна вкладів  $\beta 2$  ритму у відповідь на стимули: а) група досліджуваних 3, 4, 5; б) група досліджуваних 2, 3, 4; в) група досліджуваних 2, 4, 5



а)



б)



в)

Рисунок 2.4 – Зміна вкладів  $\alpha$  ритму у відповідь на стимули: а) група досліджуваних 3, 4, 5; б) група досліджуваних 2, 3, 4; в) група досліджуваних 2, 4, 5

У таблиці А.1 наведені числові дані вкладів ритмів для усіх досліджуваних. Фонові композиції позначено Ф1-Ф6, стимули позначено СТ.1-5 для всіх досліджуваних №1-5.

## Висновок до розділу 2

Результати аналізу свідчать про наявну реакцію головного мозку людини на обрані стимули. Оскільки в даних композиціях переважають середні частоти, можна сказати про підтвердження результатів попередніх досліджень. Для більш детального аналізу необхідно розбити існуючий діапазон частот, наявний у стимулах, на менші ділянки.

### РОЗДІЛ 3

#### РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ

Після проведення експериментального дослідження, на основі отриманих даних, було прийнято рішення про необхідність більш детального аналізу характеристик впливу і створення відповідного програмно-апаратного комплексу. Даний ПАК повинен включати в себе два основні елементи:

- фільтрацію аудіостимулу;
- методику дослідження зміни функціонального стану ЦНС.

На рисунку 3.1 представлено схему роботи програмно-апаратного комплексу.

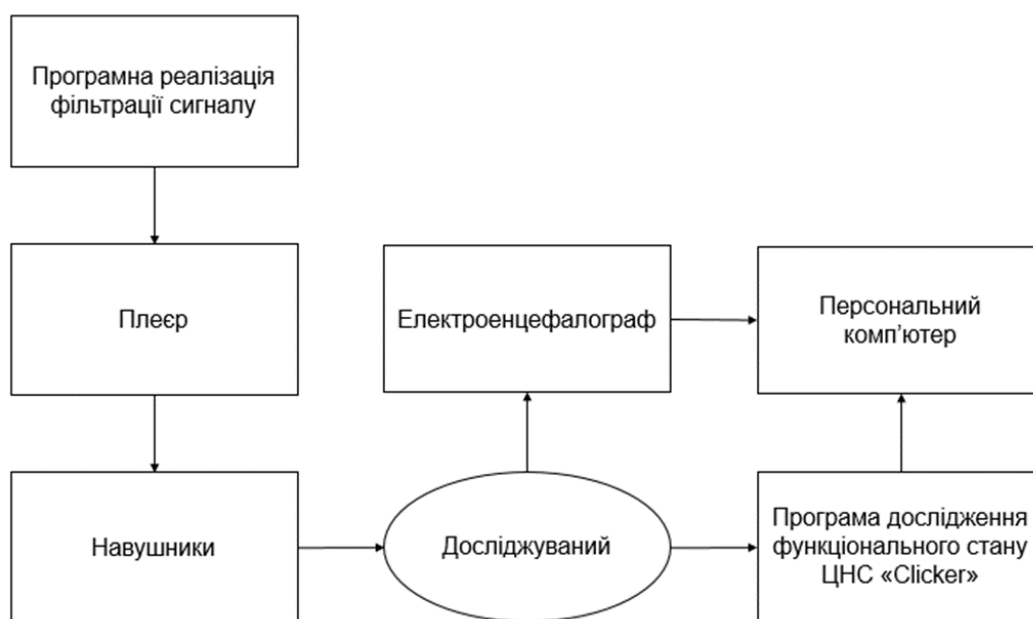


Рисунок 3.1 – Схема програмно-апаратного комплексу

Розробка даного комплексу була поділена на 2 логічні елементи:

- програмну реалізацію фільтрації сигналу;
- програму для дослідження функціонального стану ЦНС.

### 3.1 Програмна реалізація фільтрації аудіосигналу

Для програмної реалізації фільтрації звукового стимулу в заданому діапазоні частот, а також аналізу отриманих аудіостимулів, було обрано середовище MATLAB 2018.

Основними критеріями вибору середовища для розробки були:

- наявність необхідних функцій для фільтрації;
- легкість написання коду програми;
- можливість збереження відфільтрованих стимулів у wav форматі;
- наявність графічного відображення отриманих характеристик сигналу.

Оскільки доведено [13], що реакція на незнайомий чи зашифрований стимул є більш вираженою, то задля забезпечення відсутності випадкових реакцій, в якості вихідного сигналу було обрано 40-секундний фрагмент відомого українського твору «Щедрик» у форматі wav. Частотні характеристики початкового сигналу представлені на рисунку 3.2.

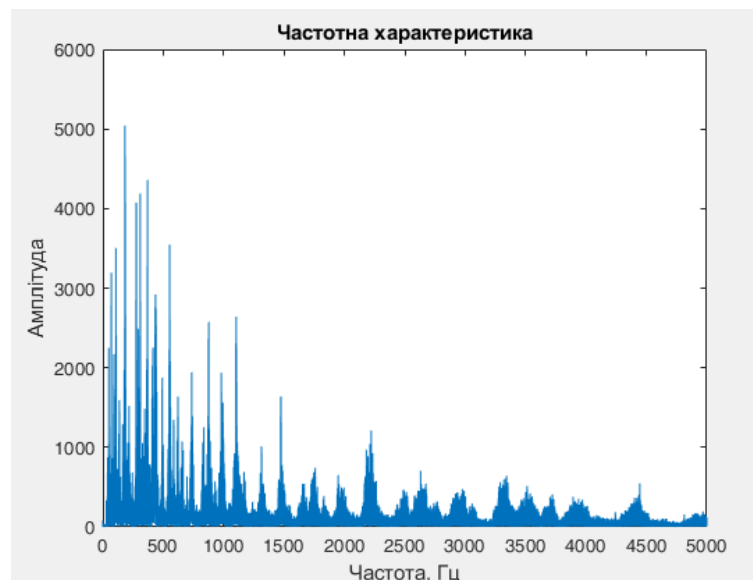


Рисунок 3.2 – Частотна характеристика вихідного аудіостимулу

Аналіз сигналу виявив наявність частот від 0 до 5 кГц. З попередніх досліджень [5-7] було визначено діапазон частот від 250 до 2998 Гц, що мають значущий вплив на електричну активність головного мозку людини. Наявні у вихідному сигналі частоти повністю охоплюють даний діапазон. Це дає можливість використання обраного фрагменту композиції «Щедрик» в подальшій роботі.

Визначений діапазон частот було доволіно розділено на 5 рівних частин з кроком 600 Гц (табл. 3.1) і створено відповідно 5 відфільтрованих звукових доріжок.

Таблиця 3.1 – Частотні діапазони відфільтрованих звукових доріжок

| Відфільтровані стимули | Діапазон частот |
|------------------------|-----------------|
| №1                     | 260 – 760 Гц    |
| №2                     | 761 – 1260 Гц   |
| №3                     | 1261 – 1760 Гц  |
| №4                     | 1761 – 2260 Гц  |
| №5                     | 2261 – 2760 Гц  |

При проведенні фільтрації було збережено основні вихідні характеристики сигналу, такі як тривалість, частота дискретизації та амплітуда.

При проектуванні реальних фільтрів було задано параметри коридору амплітудно-частотних характеристик [35]. Граничні значення смуги пропускання були обрані відповідно до табл. 3.1. Граничні значення смуги загородження були обрані з розрахунку  $\pm 10$  Гц до значень смуги пропускання. Значення нерівномірності АЧХ у смузі пропускання вибрано мінімальним ( $R_p = 1$  дБ), а значення послаблення в смузі загородження вибрано таким, що забезпечує найбільш оптимальне послаблення сигналу ( $R_s = 150$  дБ).

Частотні характеристики відфільтрованих аудіостимулів представлені на рисунку 3.3.

Код програмної реалізації представлено в додатку Б.



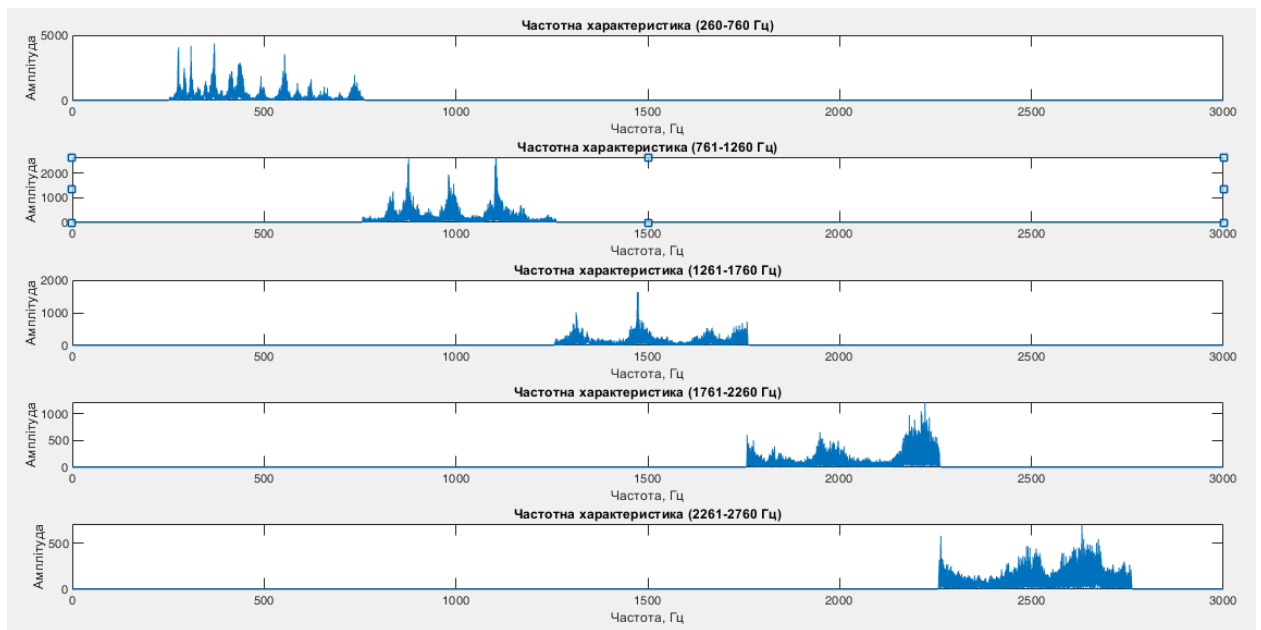


Рисунок 3.3 – Частотні характеристики відфільтрованих сигналів

Відфільтровані аудіофайли були збережені як окремі доріжки у wav форматі.

### 3.2 Програмний метод дослідження функціонального стану ЦНС

До другого логічного елементу ПАК належить розробка методу дослідження функціонального стану ЦНС.

Після аналізу існуючих методик оцінки функціонального стану ЦНС у літературі, було обрано психомоторні показники як досліджуваний фактор. Для дослідження даного показника було розроблено власну модифікацію теппінг-тесту Є. П. Ільїна [30]. Методика складається із підрахунку кількості натискань на маніпулятор миша протягом певного відрізка часу. Даний тест проводиться тричі з перервою в 1 хв між кожним тестуванням. Перерва між тестуваннями надається для запобігання накопичення м'язової втоми. Отримані результати нормуються персонально для кожного досліджуваного та приймаються як еталонний діапазон значень.

Після проведення дослідження, в окремий файл зберігаються тестування (рис. 3.4, «Clicker») перед та після прослуховування аудіостимулів (рис. 3.3), що в подальшому порівнюються з еталонним діапазоном значень.

Відповідно до даної методики було обрано назву розробленої програми – «Clicker» (англ. click – натискати).

На рисунку 3.4 представлена схема розробленої методики.



Рисунок 3.4 – Методика проведення дослідження із застосуванням програмно-апаратного комплексу

Розробка програми для визначення функціонального стану ЦНС методом розрахунку психомоторних показників відбувалась з використанням мови програмування C# [36], основними критеріями відбору якої були легкість написання коду програми, наявність необхідних для роботи функцій та легкість у використанні розробленої програми. Код реалізації можна бачити в додатку В.

Робота програми починається (рис 3.5) з моменту першого натискання на кнопку «Click», після чого відбувається запуск внутрішнього таймера, встановленого на 20 с. З кожним натисканням користувача на кнопку «Click» лічильник збільшується на одиницю, підраховуючи таким чином загальну кількість натискань. Після закінчення 20-секундного інтервалу часу, кнопка блокується, задля запобігання врахуванню надлишкових натискань. По закінченню тесту результат можна бачити на екрані (рис. 3.6).

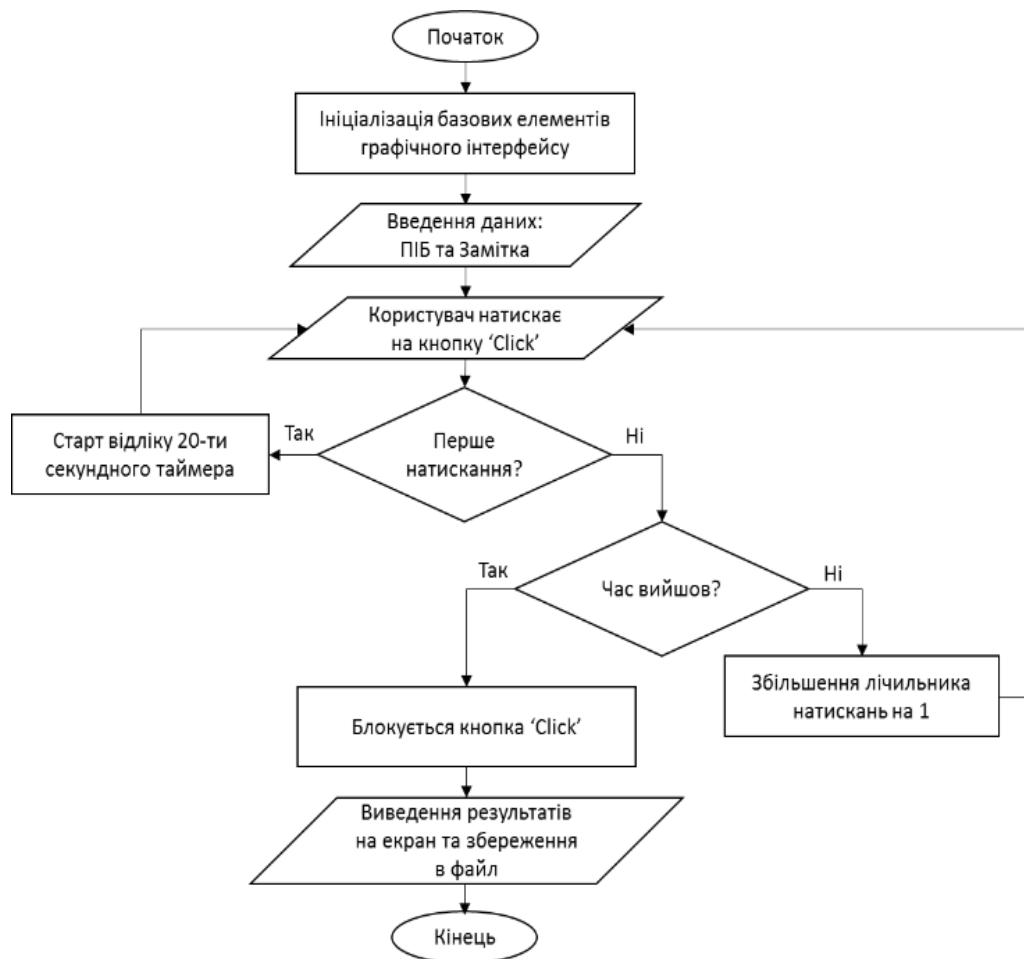


Рисунок 3.5 – Алгоритм роботи програми «Clicker»

Початковий інтерфейс програми, а також виведення результатів на екран представлені на рисунку 3.6.

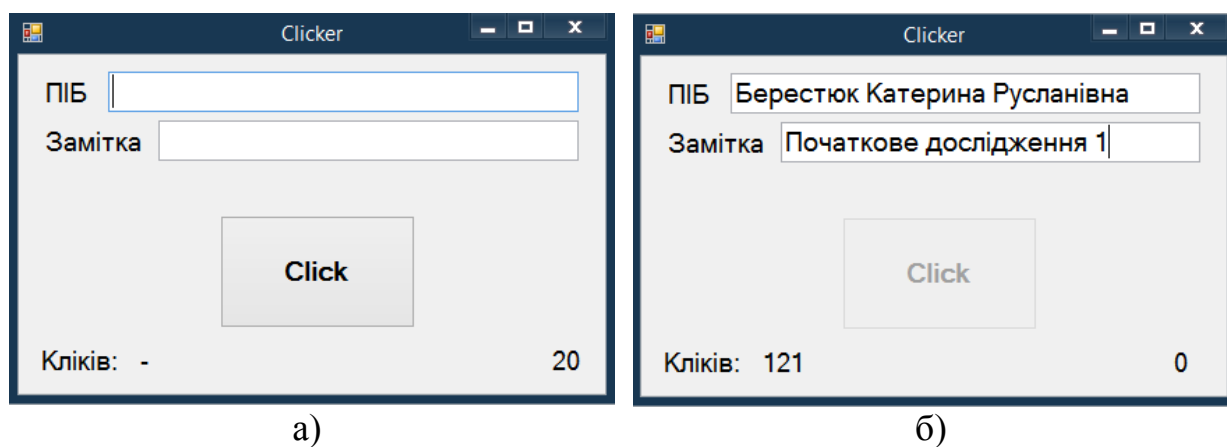


Рисунок 3.6 – Інтерфейс програми «Clicker»: а) початковий, б) після проходження тестування

По закінченню тестування результат виводиться на екран та зберігається в окремий текстовий файл під назвою «ПІБ\_Замітка» у корінь папки з програмою (рис. 3.7).

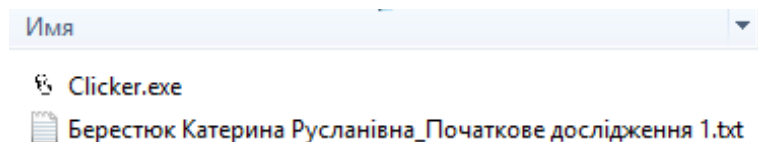


Рисунок 3.7 – Збереження результатів тестування

Розроблена програмна методика дозволяє швидко визначити психомоторні показники і зберегти результати без застосування спеціального програмного забезпечення чи підключення окремих додатків. Використання є простим і не потребує спеціальної підготовки, що значно спрощує проведення дослідження.

### Висновок до розділу 3

Після проведення експериментального дослідження було підтверджено вплив попередньо обраного діапазону частот на електричну активність головного мозку.

Розробку програмно-апаратного комплексу було поділено на дві логічні частини: фільтрації звукового стимулу та дослідження функціонального стану ЦНС.

Фільтрація аудіостимулу була реалізована в середовищі MATLAB 2018 зі збереженням відфільтрованих стимулів у форматі wav. Основні характеристики вихідного сигналу були залишені незмінними.

Дослідження функціонального стану ЦНС було реалізовано з допомогою мови програмування C# у вигляді окремої програми «Clicker». У

якості критерію дослідження обрано психомоторний показник – кількість натисків на маніпулятор миша протягом певного часу. Розроблена програма надає можливість визначити психомоторні показники без застосування складних тестів чи громіздких розрахунків. Автоматизована методика проведення тестування дозволяє швидко отримати чіткі результати, що забезпечує якість дослідження.

Розроблений програмно-апаратний комплекс дає можливість дослідити вплив аудіосигналів заданої частоти на зміни функціонального стану ЦНС. Робота ПАК є гнучкою і не залежить від кількості проведених досліджень та застосованих аудіостимулів, що дає можливість підлаштування комплексу під подальші дослідження.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БМ51.01.2705.1404.ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                      | 37   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## РОЗДІЛ 4

### ПЕРЕВІРКА РОБОТИ КОМПЛЕКСУ

Було проведено експериментальне дослідження на 5ти добровольцях віком від 20 до 21 року. З них 2 чоловіки та 3 жінки.

Як і попереднє, дане дослідження проводилося з урахуванням діючого законодавства України. Кожен з учасників надав письмову «Згоду на обробку персональних даних».

Дані знімалися за допомогою програмно-апаратного комплексу «ЕкспертТМ» компанії Tredex. В якості джерела звуку було використано плеєр «iRiver T9 4GB» (рис. 2.1а) та вакуумні навушники «Panasonic RP-NJE118GU-K» (рис. 2.1б), технічні характеристики яких представлені у табл. 2.1 та табл. 2.2 відповідно.

В якості аудіостимулів було використано відфільтрований в різних частотних діапазонах (табл. 3.1) 40-секундний фрагмент музичної композиції «Щедрик» у форматі wav. Частотні характеристики отриманих звукових стимулів представлені на рисунку 3.3.

Запис даних проводився при стандартній схемі розміщенні електродів за міжнародною системою «10-20», біполярна реєстрація відбувалася з допомогою референтних 16 електродів зі швидкістю 30 мм/с, амплітудою 50 мВ. Попередній аналіз результатів ЕЕГ проводився у програмному середовищі Expert\_NET.

Дослідження проводилось відповідно до розробленої методики (рис. 3.4). Було використано 5 звукових доріжок. Кожна з яких тривала 1 хв 40 с та складалася з 30-секундної фонові тиші, 40-секундного звукового стимулу і 30-секундної фонові тиші (остання для запису ЕЕГ при проходженні тестування).

В ході роботи було досліджено результати проведення тестування психомоторних показників відносно еталонного значення (нормованого персонально для кожного досліджуваного діапазону значень початкового тестування).

На рисунку 4.1 представлені графіки зміни результатів тестування психомоторних показників після прослуховування кожного з обраних аудіостимулів (табл. Г.3).

Нормовані попередні результати, взяті за еталон, позначено на графіках як до\_сер, результати тестування одразу після прослуховування звукового стимулу позначено стХ\_1, а результати, отримані через 1 хв відпочинку після попереднього тестування (рис. 3.4) позначено стХ\_2, де Х – номер стимулу.

З отриманих графіків можна бачити, що одразу після прослуховування кожного з аудіостимулів спостерігається зміна кількості натисків. Тоді як через хвилину після попереднього тестування, майже у всіх досліджуваних спостерігається тенденція до прямування значення кількості натисків в діапазон норми.

В залежності від реакції на стимул можна умовно виділити дві групи: у досліджуваних №1 та №4 спостерігається суттєве пониження кількості натисків після прослуховування аудіостимулів, тоді як у досліджуваних №2 та №5 спостерігається їх підвищення. Досліджуваний №3 після прослуховування стимулів №1, №2 та №4 (рис. 4.1а, б, г) виявляв реакцію у вигляді підвищення, а після прослуховування стимулів №3 та №5 – пониження (рис. 4.1в, д).

Досліджуваний №1 показував стабільно низькі значення кількості натисків як реакцію на стимули, у порівнянні з еталонними, при чому на стимул №5 спостерігається найбільша реакція – зменшення кількості кліків на 20 одиниць (рис. 4.1д). При чому після прослуховування п'ятого стимулу у інших досліджуваних спостерігається найменший розкид зміни психомоторних показників, у порівнянні з реакцією на інші стимули.

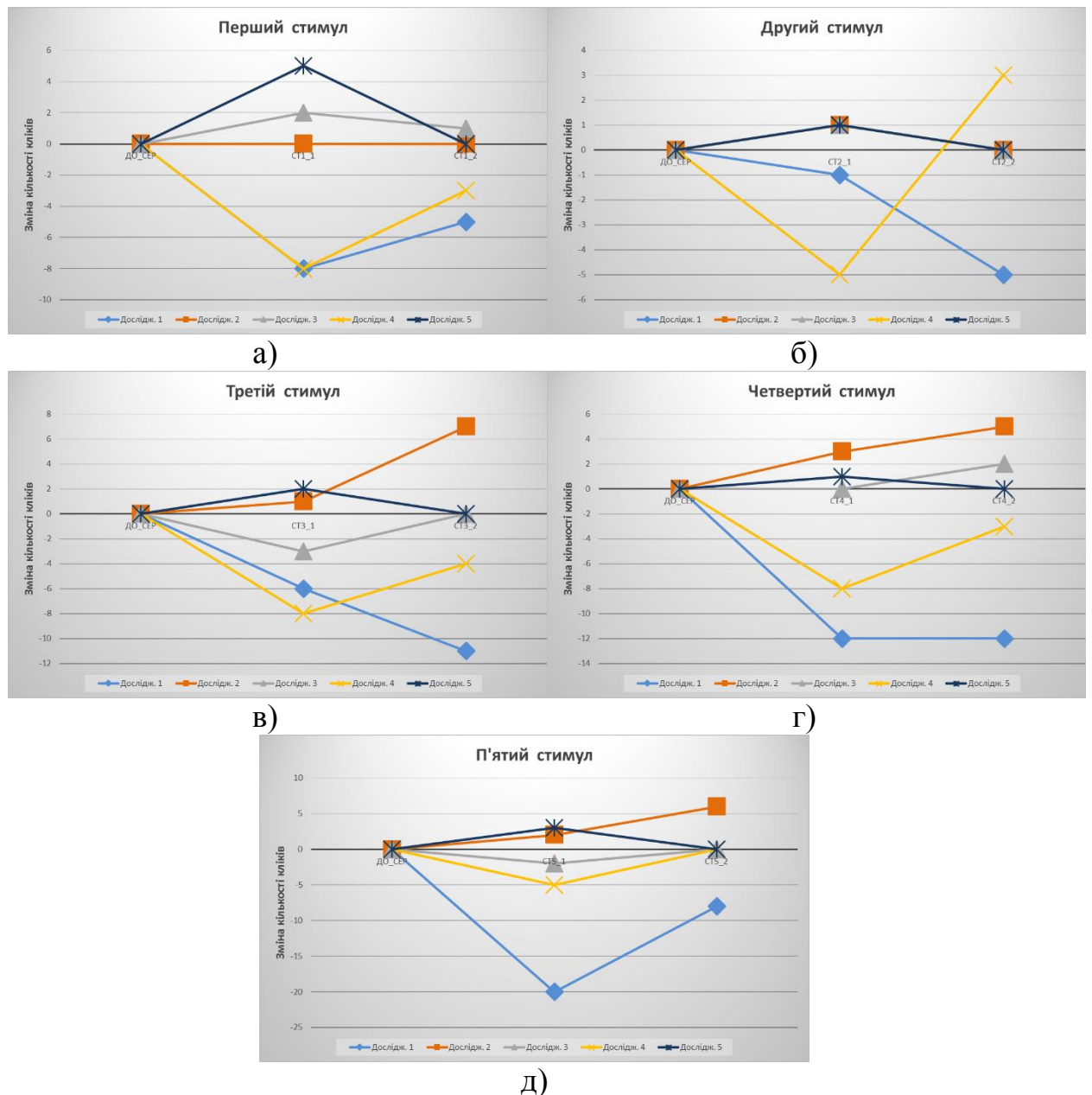


Рисунок 4.1 – Результати тестування психомоторних показників після прослуховування: а) аудіостимулу №1, б) аудіостимулу №2, в) аудіостимулу №3, г) аудіостимулу №4, д) аудіостимулу №5

Отримані дані свідчать про наявність певної реакції внаслідок прослуховування звукових стимулів.

Було розглянуто вклади ритмів, узагальнені по кожному відрізу аудіостимулу: під час прослуховування аудіосигналу та під час фонові тиші.

На рисунку 4.2 представлено зміну вкладів  $\alpha$ -ритму в лівих відведеннях у відповідь на перший стимул (табл. Г.1). Вклад ритму під час фонові тиші



позначено щедрик  $X_0$ , одразу після початку прослуховування звукового стимулу – щедрик  $X_1$ , та перед закінченням аудіостимулу – щедрик  $X_2$ , де  $X$  – номер стимулу.

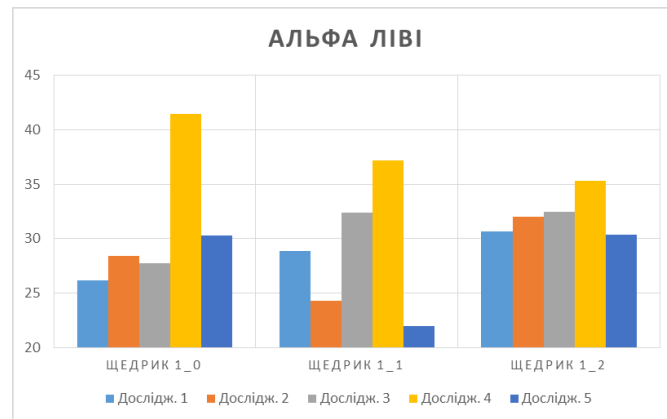


Рисунок 4.2 – Зміна вкладів  $\alpha$ -ритму в лівих відведеннях у відповідь на стимул №1

З рисунку 4.2 видно, що незалежно від вкладу  $\alpha$ -ритму перед початком прослуховування аудіостимулу №1, під кінець прослуховування доля  $\alpha$ -ритму у всіх досліджуваних знаходиться в одному діапазоні значень (30-35%).

У правих відведеннях (рис. 4.3) для досліджуваних №1-3 та №5 спостерігається така ж тенденція, що у лівих відведеннях (табл. Г.2).

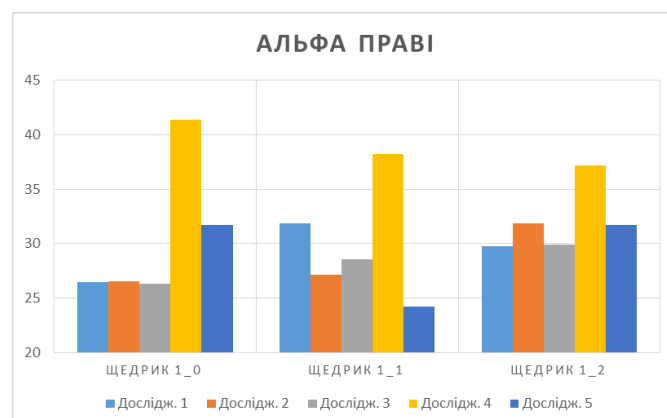


Рисунок 4.3 – Зміна вкладів  $\alpha$ -ритму в правих відведеннях у відповідь на стимул №1

Також спостерігається зміна вкладів  $\beta$ 2-ритму в лівих відведеннях для четвертого стимулу (рис. 4.4). Незалежно від вкладу ритму перед початком прослуховування аудіостимулу №4, одразу після початку стимулу доля  $\beta$ 2-ритму у досліджуваних №2, №3 та №5 знаходиться в одному діапазоні значень (близько 22%). У цих же досліджуваних спостерігається підвищення кількості натисків після прослуховування аудіостимулу №4 (рис. 4.1г).

У досліджуваних №1 та №4 після початку прослуховування четвертого стимулу вклад  $\beta$ 2-ритму знаходиться в одному діапазоні (19-20%), попри різні значення перед прослуховуванням даного звукового стимулу. У цих же досліджуваних спостерігається суттєве зниження кількості натисків після прослуховування аудіостимулу №4 (рис. 4.1г).

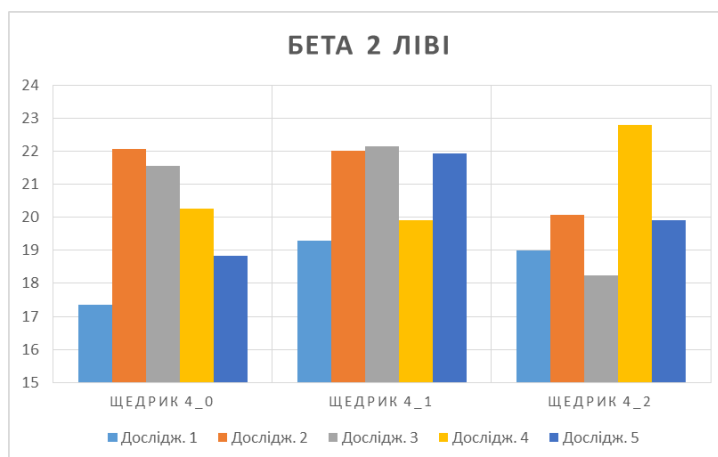


Рисунок 4.4 – Зміна вкладів  $\beta$ 2-ритму в лівих відведеннях у відповідь на стимул №4

Наявність реакції як у зміні психофізіологічних показників, так і у зміні вкладів ритмів ЕЕГ у одних і тих же досліджуваних може свідчити про загальну реакцію центральної нервової системи на аудіостимули. Результати дослідження свідчать про вдалу апробацію розробленої методики застосування ПАК, та можливість його подальшого використання у дослідженнях.

## Висновок до розділу 4

Результати експериментального дослідження свідчать про наявну реакцію ЦНС на звукові стимули. Оскільки спостерігалась зміна вкладів ритмів ЕЕГ у відповідь на стимули, а також зміни психомоторних показників, що характеризують функціональний стан ЦНС, можна говорити про вплив аудіостимулів як на електричну активність головного мозку, так і на ЦНС в загальному. Аналіз отриманих результатів свідчить про доцільність подальшого використання розробленої методики застосування програмно-апаратного комплексу для більш детального аналізу впливу аудіостимулів заданої частоти на зміну функціонального стану ЦНС людини.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БМ51.01.2705.1404.ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                      |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                      | 43   |

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ

Виконання дипломної роботи відбувалося на базі НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Темою роботи є розробка програмно-апаратного комплексу для дослідження впливу аудіосигналів на функціональний стан ЦНС. У даному розділі, у відповідності до теми дипломної роботи, було розглянуто можливі небезпеки, що виникають від час проведення дослідження та, відповідно, застосуванні розробленого комплексу [37].

#### 5.1 Характеристика приміщення

Кабінет для дослідження являє собою сухе та світле приміщення з укритою лінолеумом підлогою, світлими стінами та стелею. Вентиляція комбінована. Освітлення становить комбінацію штучного та природнього. У таблиці 5.1 наведена специфікація технологічного обладнання та оснащення кабінету, а також його параметри [38].

Таблиця 5.1 – Специфікація технологічного обладнання та оснащення приміщення

| №          | Найменування         | Основні характеристики                                       | Кількість | Позиція на<br>рисунок |
|------------|----------------------|--|-----------|-----------------------|
| Приміщення |                      |  |           |                       |
| 1          | Параметри приміщення | 4000x3000x2700 мм;<br>$S=12\text{м}^2$ ; $V=32,4\text{м}^3$  | -         | -                     |
| 2          | Кількість працюючих  | Дослідник<br>Досліджуваний                                   | 2         | -                     |
| 3          | Природне освітлення  | Вікно поворотно-відкидне Steko S300<br>Розміри: 1200x1500 мм | 1         | -                     |
| 4          | Штучне освітлення    | Світильник ЛПО-01 (дволамповий)<br>Розміри: 1313x255мм       | 2         | -                     |

Продовження таблиці 5.1

| №                      | Найменування                                      | Основні характеристики  | Кількість | Позиція на<br>рисунок |
|------------------------|---|---|-----------|-----------------------|
| 5                      | Вентиляція  | Кондиціонер Galactic GK 30H-S<br>- розміри: 315x1085x235 мм;<br>- напруга: 220, 230, 240 В, частота:<br>50 Гц.  | 1         | 7                     |
| Обладнання і оснащення |   |   |           |                       |
| 1                      | Приймальний<br>блок ЕЕГ<br>«Тредекс»              | - розміри: 350x250x140 мм;<br>- матеріал: пластмасовий корпус;<br>- діапазон вихідних напруг: від 500 мкВ<br>до 5 В;<br>- клас виробу за ступенем захисту А;<br>- клас виробу за способом захисту – ІІ;<br>- вид виконання пристрою, в залежності<br>від умов експлуатації та довкілля –<br>захищене. | 1         | 5                     |
| 2                      | Передавальний<br>пристрій каналу<br>ЕЕГ «Тредекс» | - розміри: 155x105x45 мм;<br>- матеріал: пластмасовий корпус;<br>- діапазон вихідних напруг: від 500 мкВ<br>до 5 В;<br>- клас виробу за ступенем захисту А;<br>- клас виробу за способом захисту – ІІ;<br>- вид виконання пристрою, в залежності<br>від умов експлуатації та довкілля –<br>захищене.  | 1         | 6                     |
| 3                      | Ноутбук Dell<br>Inspiron 3567<br>Black            | - розміри: 380x260,3x23,65 мм;<br>- матеріал: Пластмасовий корпус;<br>- напруга: 200-240 В, частота: 49-51 Гц.  | 2         | 2                     |
| 4                      | Стелаж для<br>документів Б160                     | - розміри: 640x320x1850 мм;<br>- матеріал: ламіноване ДСП, товщиною<br>16мм, торці оброблені пластиковою<br>кромкою товщиною 0,55 мм, хадня<br>стінка – ДВП.  | 1         | 1                     |
| 5                      | Стілець ISO C-11                                  | - розміри: 470x410x850 мм;<br>- матеріал: металевий корпус,<br>синтетичне волокно.  | 2         | 3                     |
| 6                      | Стіл<br>комп'ютерний                              | - розміри: 1200x500x760 мм;<br>- матеріал: ДСП товщиною 16мм класу<br>емісії Е1, металевий каркас.  | 2         | 4                     |
| 7                      | Порошковий<br>вогнегасник<br>ОП-5                 | - розміри: 325x176 мм;<br>- матеріал: корпус – метал.   | 1         | 8                     |

У таблиці 5.2 наведені реальні та нормативні значення характеристик приміщення та обладнання.

Таблиця 5.2 – Реальні та нормативні характеристики приміщення

| № | Параметр приміщення       | Реальне значення    | Нормативне значення |
|---|---------------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Площа на 1 працюючого     | 6 м <sup>2</sup>    | 4,5 м <sup>2</sup>  |
| 2 | Об'єм на 1 працюючого     | 16,2 м <sup>3</sup> | 15 м <sup>3</sup>   |
| 3 | Мінімальна ширина проходу | 1,5 м               | 1,5 м               |
| 4 | Ширина дверного проходу   | 1 м                 | Не менше 1 м        |

На рисунку 5.1 представлений план приміщення.

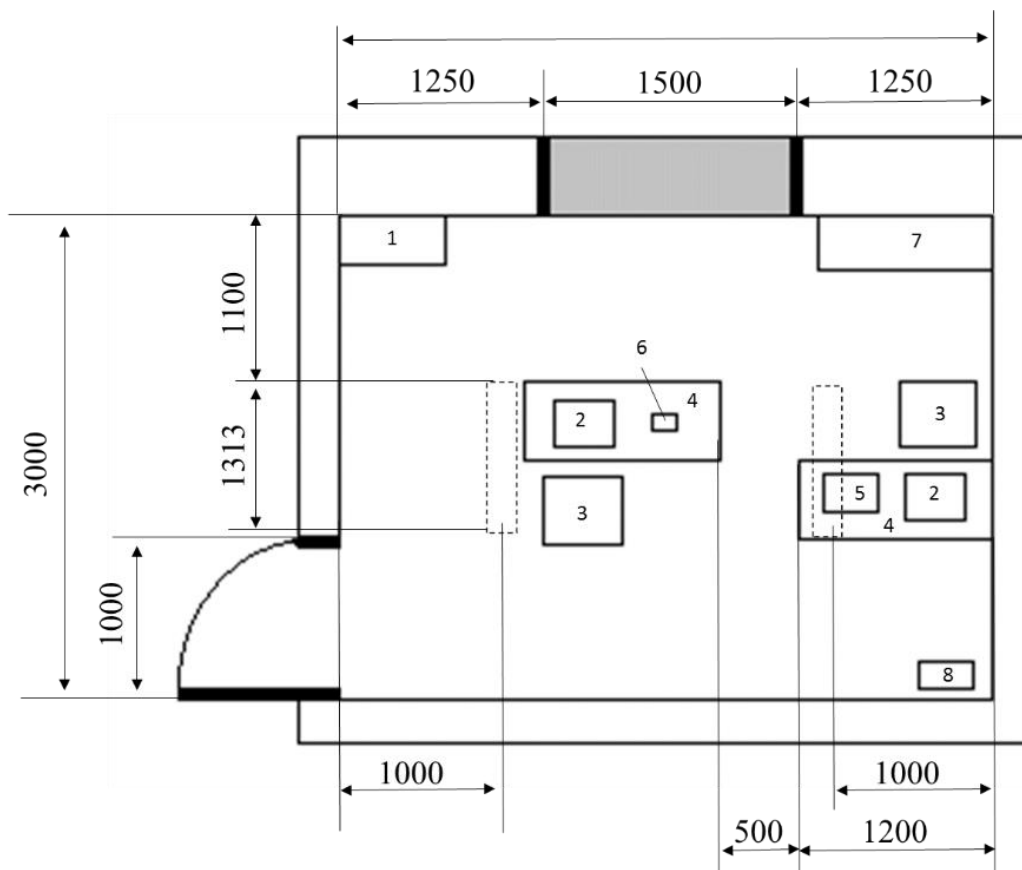


Рисунок 5.1 – Схема робочого кабінету:

1 – стелаж для документів Б160, 2 – ноутбук Dell Inspiron 3567 Black,  
3 – стілець ISO C-11, 4 – стіл комп'ютерний, 5 – приймальний блок ЕЕГ  
«Tredex», 6 – передавальний пристрій каналу ЕЕГ «Tredex», 7 – Кондиціонер  
Galactic GK 30H-S, 8 – Вогнегасник ОП-5

Характеристики приміщення відповідають нормативним значенням (площа та об'єм на одного працюючого є більшими, що також відповідає нормам).

## 5.2 Оцінка небезпечних та шкідливих факторів

Небезпечні та шкідливі виробничі чинники відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 за природою дії поділяються на 4 групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні. Наявність відповідних чинників вказана у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Небезпечні та шкідливі фактори

| Група небезпечних чинників | Перелік                                 |
|----------------------------|---|
| Фізичні                    | - електробезпека;<br>- пожежна безпека. |
| Хімічні                    | відсутні                                |
| Біологічні                 | відсутні                                |
| Психофізіологічні          | відсутні                                |

Так як біологічні, хімічні та психофізіологічні фактори відсутні, у подальшій роботі будуть розглянуті фізичні чинники.

### 5.2.1 Електробезпека

У таблицях 5.4 – 5.6 наведені основні джерела електробезпек та заходи з забезпечення охорони праці.

Таблиця 5.4 – Основні джерела електробезпек

| № | Джерело небезпеки                | Причини небезпеки  | Наслідки  |
|---|----------------------------------|--|---|
| 1 | Ноутбук Dell Inspiron 3567 Black | а) техногенні фактори:<br>- відсутність ізоляції;<br>- коротке замикання;<br>- пошкодження дротів.<br>б) людські фактори:<br>- використання техніки не за призначенням;<br>- використання води поруч з технікою. | Опіки, електротравми легкого ступеня та такі, що можуть призвести до смерті |
| 2 | Кондиціонер Galactic GK 30H-S    |  |   |
| 3 | Світильник ЛПО-01 (дволамповий)  |  |   |

Продовження таблиці 5.4

| № | Джерело небезпеки                           | Причини небезпеки  | Наслідки |
|---|---|--|----------|
| 4 | Приймальний блок ЕЕГ «Тредекс»              | - пробій ізоляції;<br>- контакт з електроелементами;<br>- проведення струму через корпус;<br>- прямий доступ до мережі 220 В.                            |          |
| 5 | Передавальний пристрій каналу ЕЕГ «Тредекс» | - пробій ізоляції;<br>- контакт з електроелементами;<br>- проведення струму через корпус;<br>- прямий доступ до мережі 220 В;<br>- вплив високих напруг. |          |

Таблиця 5.5 – Умови застосування електроприладів

| № | Найменування електроприладу                 | Умови застосування                           |
|---|---|--|
| 1 | Приймальний блок ЕЕГ «Тредекс»              | Діапазон вихідних напруг: від 500 мкВ до 5 В |
| 2 | Передавальний пристрій каналу ЕЕГ «Тредекс» | Діапазон вихідних напруг: від 500 мкВ до 5 В |
| 3 | Ноутбук Dell Inspiron 3567 Black            | Напруга: 220 ± 20 В<br>Частота: 50 ± 1 Гц    |
| 4 | Кондиціонер Galactic GK 30H-S               |  |
| 5 | Світильник ЛПО-01 (дволамповий)             |  |

Таблиця 5.6 – Заходи захисту від електронебезпек

| № | Група номенклатурних заходів з ОП | Вид заходу  | Критерій вибору   |
|---|-----------------------------------|---|---|
| 1 | Технічні                          | Герметичний корпус приладу                            | Захист від несанаяіного відкриття корпусу   |
|   |                                   | Пластмасова поверхня корпусу                          | Відсутність проведення струму при дотику до корпусу                                   |
|   |                                   | Єдиний порт для зарядження та підключення шапочки ЕЕГ | Забезпечення недоступності досліджуваного до мережі 220 В під час зарядження пристрою |
|   |                                   | Безпроводна передача даних                            | Відсутність прямого доступу до мережі 220 В   |
|   |                                   | Індикатор роботи приладу                              | Інформування про ввімкнення приладу   |
|   |                                   | Детектор зарядження пристрою                          | Недопущення аварійних режимів роботи  |
|   |                                   | Резинова шапочка                                      | Захист від проведення струму при пошкодженні ізоляції електродів                      |
|   |                                   | Подвійна ізоляція дротів зарядного пристрою           | Захист від ушкодження струмом при експлуатації приладу                                |



Продовження таблиці 5.6

| № | Група номенклатурних заходів з ОП | Вид заходу                                     | Критерій вибору                                       |
|---|-----------------------------------|--|---|
| 1 | Технічні                          | Ізоляція електродів                            | Захист від ушкодження струмом                         |
|   |                                   | Малі напруги на виході пристроїв               | Захист від впливу високої напруги                     |
| 2 | Організаційні                     | Проведення інструктажу з техніки безпеки       | Навчання з питань безпеки при експлуатації обладнання |
| 3 | Режимні                           | Недопущення появи сторонніх осіб у лабораторії | Забезпечення достовірності досліджень                 |
| 4 | Експлуатаційні                    | Використання за призначенням                   | Належне використання                                  |
|   |                                   | Повірка засобу вимірювання                     | Достовірність інформації                              |
| 5 | ЗІЗ                               | Не передбачено                                 | -   |

Оскільки дане приміщення сухе, не запилене, вологість не перевищує 75%, за ступенем небезпеки ураженням електричним струмом воно відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки [39].

### 5.2.2 Пожежна безпека

У таблицях 5.7 – 5.9 наведені основні джерела пожежної небезпеки та заходи з забезпечення охорони праці (далі – ОП) [40].

Таблиця 5.7 – Основні джерела пожежних небезпек

| № | Джерело небезпеки                     | Причини небезпеки                                    | Наслідки   |
|---|---------------------------------------|--|--|
| 1 | Горючі матеріали та речовини          | Загорання матеріалів                                 | Виникнення пожежі, пошкодження обладнання, опіки, ушкодження шкірного покриву, що може призвести до смерті працівника. |
| 2 | Несправність електричних дротів       | Пробій ізоляції, коротке замикання, плавлення дротів |  |
| 3 | Недотримання заходів пожежної безпеки | Загорання матеріалів, коротке замикання              |  |
| 4 | Несправність елементів                | Плавлення та загорання елементів                     |  |

Таблиця 5.8 – Характеристика пожежної небезпеки

| Категорія пожежної небезпеки | Клас пожежонебезпечної зони | Клас пожежної небезпеки                   |
|------------------------------|-----------------------------|---|
| В                            | П-Па                        | Е – горіння електроустановок під напругою |

Таблиця 5.9 – Заходи захисту від пожежі

| № | Група номенклатурних заходів з ОП | Вид заходу  | Критерій вибору                        |
|---|-----------------------------------|---|--|
| 1 | Технічні                          | Вогнегасник   | Ліквідація пожежі, що виникла          |
|   |                                   | Пожежна сигналізація                                    | Повідомлення про пожежу                |
|   |                                   | Негорючі матеріали                                      | Запобігання виникненню пожежі          |
|   |                                   | Справна техніка   | Запобігання виникненню пожежі          |
|   |                                   | Запобіжники   | Вимкнення струму при аварійному режимі |
| 2 | Організаційні                     | Ознайомлення з технікою безпеки та навчання працівників | Запобігання виникненню пожежі          |
|   |                                   | Встановлення правил роботи з електроприладами           | Запобігання виникненню пожежі          |
|   |                                   | Забезпечення доступу до виходу з приміщення             | Можливість евакуації                   |
| 3 | Режимні                           | Не передбачені  | -                                      |
| 4 | Експлуатаційні                    | Регулярна перевірка і ремонт обладнання                 | Попередження поломок і перегріву       |
| 5 | ЗІЗ                               | Протигази, маски  | Захист від пожежі, що виникла          |

## Висновок до розділу 5

У даному розділі було розглянуто основні небезпечні та шкідливі фактори, що можуть виникати під час роботи з розробленим програмно-апаратним комплексом. При проведенні електроенцефалографічного дослідження забезпечено відсутність впливу струмів на людину. Розглянуто основні протипожежні заходи.

Про дотриманні основних засобів захисту вплив небезпечних та шкідливих факторів на людину є мінімальним.

## ВИСНОВКИ

В ході дипломної роботи було розглянуто сучасні дослідження впливу звукових стимулів на психофізіологічні показники. Проведено експериментальне дослідження для перевірки зміни електричної активності головного мозку людини під впливом стимулів із частотним діапазоном 250 – 2998 Гц, обраним на основі літературних джерел.

Для запису ЕЕГ використано програмно-апаратний комплекс «ЕкспертТМ» компанії Tredex. Запис даних проводився при стандартній схемі розміщення електродів за міжнародною системою «10 – 20», біполярна реєстрація відбувалася за допомогою 16 референтних електродів зі швидкістю 30 мм/с, амплітудою 50 мВ. Для дослідження використовувалися навушники «Panasonic RP-HJE118GU-K» та плеєр «iRiver T9 4GB». Аналіз результатів ЕЕГ проводився у програмному середовищі Expert\_NET, розробленому виробником енцефалографічного комплексу компанії Tredex.

Результати аналізу дослідження свідчать про наявну реакцію головного мозку на обрані стимули, що підтверджує результати попередніх досліджень, та необхідність звуження частотного діапазону формуючого стимулу.

Розроблено методику збору психомоторних показників та відслідковування їх динаміки на основі власної модифікації теппінг-тесту.

Розробку програмно-апаратного комплексу було поділено на дві логічні частини: фільтрацію звукового стимулу та дослідження функціонального стану ЦНС.

Фільтрація аудіостимулу була реалізована в середовищі MATLAB 2018 зі збереженням відфільтрованого стимулу у форматі wav. Основні характеристики вихідного сигналу були залишені незмінними.

Дослідження функціонального стану ЦНС було реалізовано з допомогою мови програмування C# у вигляді окремої програми «Clicker». У

якості критерію дослідження обраний психомоторний показник – кількість натисків на маніпулятор миша протягом певного часу. Розроблена програма надає можливість визначити психомоторні показники без застосування складних тестів чи громіздких розрахунків. Автоматизована методика проведення тестування дозволяє швидко отримати чіткі результати, що забезпечує якість дослідження.

Результати експериментальної перевірки роботи комплексу свідчать про наявну реакцію ЦНС на звукові стимули, оскільки спостерігалась зміна вкладів ритмів ЕЕГ у відповідь на стимули. Аналіз отриманих результатів вказує про доцільність подальшого використання розробленої методики застосування програмно-апаратного комплексу.

Розроблено методику застосування програмно-апаратного комплексу з урахуванням послідовності дослідження психомоторних функцій та мінімізації сторонніх факторів сприйняття аудіостимулів за допомогою врахування індивідуальних особливостей досліджуваного шляхом нормалізації результатів.

Розроблений програмно-апаратний комплекс дає можливість дослідити вплив аудіосигналів заданої частоти на зміни функціонального стану ЦНС. Робота ПАК є гнучкою і не залежить від кількості проведених досліджень та застосованих аудіостимулів, що дає можливість підлаштування комплексу під подальші дослідження.

Результати роботи впроваджено:

- публікація тез «Сучасні дослідження впливу звукових стимулів на роботу головного мозку» в збірнику «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». 2019 р. Ч. III; прийнято участь у міжнародній науково-практичній конференції MicroCAD-2019;

- подана до друку стаття «Експериментальний комплекс для дослідження впливу аудіосигналів на психомоторні показники» у другому номері науково-практичного журналу «Біомедична інженерія і технологія».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Розік А. І. Вплив музики на когерентність електроенцефалограми кори головного мозку в чоловіків та жінок під час виконання когнітивних завдань / [А. І. Розік, О. С. Павлович, Я. М. Чмух та ін.]. // Збірник наукових праць VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Біологічні дослідження – 2017». – 2017.

2. Шпенков О.О. Зміни електричної активності головного мозку під час прослуховування рок-музики із видозміненою частотною структурою / О.О. Шпенков, С.В. Тукаєв, І.Г. Зима, С.А. Крижановський // Вісник Черкаського університету. Серія «Біологічні науки». – 2014. – № 2 (295). – С. 121–128. – ISSN 2076-5835.

3. Павлович О.С. Індекс зміни потужності ЕЕГ в осіб із різним профілем асиметрії під час сприйняття та відтворення ритмічних звукових стимулів/ О.С. Павлович , А.Г. Моренко// Збірник наукових праць VIII «Біологічні дослідження – 2017» . – 2017. – С.1-2.

4. Литвинчук Л. М. КОРИГУВАННЯ МУЗИКОЮ ЯК ВЕРБАЛЬНО-МУЗИЧНА ПСИХОРЕГУЛЯЦІЯ ОСОБИСТОСТІ / Л. М. Литвинчук. // Вісник Національного університету оборони України. – 2013. – №5. – С. 243 – 248.

5. Дацок О. М. Вплив звукового сигналу на спектральні характеристики енцефалограми / О. М. Дацок, Г. Р. Овчаренко, К. О. Александрова, О. Р. Александров. // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXV міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р.: у 4 ч. Ч. III. / за ред. проф. Сокола Є.І. Харків: НТУ «ХП». С. 52.

6. Александрова К. О. Методика дослідження впливу музичних фрагментів на показники електроенцефалограми / К. О. Александрова, Г. Р. Овчаренко, О. Р. Александров. // Сучасні напрями розвитку інформаційно-

комунікаційних технологій та засобів управління: тези доповідей VIII міжнародної науково-технічної конференції, 26–27 квітня 2018р.: Харків: НТУ «ХПІ». С. 36.

7. Калашнікова Л. Є. Зв'язок когнітивної діяльності з характеристиками  $\beta$  – ритма під впливом аудіо стимулів різного компонентного складу. / Л. Є. Калашнікова, Г. Р. Овчаренко, К. О. Александрова, О. Р. Александров. // Біомедична інженерія і технологія. 2018. №1. С. 130–135. ISSN (Print): 2617-8974.

8. В. Т. Грінченко, І. В. Вовк, В. Т. Маципура Основи акустики. — К: Наукова думка, 2007. — 640 с.

9. Энциклопедия физики и техники [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] – Режим доступу: [http://www.femto.com.ua/articles/part\\_1/1222.html](http://www.femto.com.ua/articles/part_1/1222.html) (дата звернення 10.05.2019) – Звук.

10. Міжнародна асоціація «ЗДОРОВ'Я СУСПІЛЬСТВА» [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: [http://healthy-society.com.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=411:2011-08-03-04-46-56&catid=35:2011-04-19-08-30-36&Itemid=57](http://healthy-society.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=411:2011-08-03-04-46-56&catid=35:2011-04-19-08-30-36&Itemid=57) (дата звернення 10.05.2019) – ЕКОЛОГІЯ. Вплив звуків на організм людини.

11. Навчальні матеріали онлайн [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Навч. матер. онлайн, 2010-2019. – Режим доступу: [https://pidruchniki.com/16790422/bzhd/infra-\\_ultrazvuk\\_parametri\\_infra-\\_ultrazvukovih\\_kolivan](https://pidruchniki.com/16790422/bzhd/infra-_ultrazvuk_parametri_infra-_ultrazvukovih_kolivan) (дата звернення 10.05.2019) – Інфра- та ультразвук. Параметри інфра- та ультразвукових коливань; їх джерела, характерні ознаки. Дія ультра- та інфразвуку на організм людини. Методи та засоби захисту від ультра- та інфразвуку.

12. Оборудование, материаловедение, механика и... [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <https://mash-xxl.info/page/118178076185227224196011016169238170136008166255/> (дата звернення 10.05.2019) – Энциклопедия по машиностроению XXL.

13. Kumagai Y, Arvaneh M and Tanaka T (2017) Familiarity Affects Entrainment of EEG in Music Listening. Front. Hum. Neurosci. 11:384. doi: 10.3389/fnhum.2017.00384.

14. Kumagai Y, Matsui R and Tanaka T (2018) Music Familiarity Affects EEG Entrainment When Little Attention Is Paid. Front. Hum. Neurosci. 12:444. doi: 10.3389/fnhum.2018.00444.

15. Markovic A, Kühnis J and Jäncke L (2017) Task Context Influences Brain Activation during Music Listening. Front. Hum. Neurosci. 11:342. doi: 10.3389/fnhum.2017.00342.

16. Гольдберг Е.М., Кривцунова А.Н., Пустовгар А.А. Влияние прослушивания музыки в наушниках на изменение частотного спектра ЭЭГ // Современные наукоемкие технологии. 2005. N4. С. 39–40.

17. Близнюк О. А. Исследование применения метода определения базовых эмоций на основе отношения частот спектра звуковой волны / О. А. Близнюк, А. П. Шкарапута. // Вестник Пермского университета. – 2017. – С. 86–91

18. iLab – информационный портал по вопросам биомедицинской инженерии [Электронный ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступа: <http://ilab.xmedtest.net/?q=node/6112> (дата звернения 10.05.2019) – Основные методы ЭЭГ-анализа.

19. Neuroscience For Kids [Электронный ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – 1996-2012, Eric H. Chudler – Режим доступа: <http://faculty.washington.edu/chudler/1020.html> (дата звернення 12.05.2019) – 10-20 System of Electrode Placement.

20. Каплан А.Я., Борисов С.В., Желиговский В.А.. Классификация ЭЭГ под-ростков по спектральным и сегментным характеристикам в норме и при расстройстве шизофренического спектра//Журнал ВНД. 2005. Т.55. №4.

21. Кирой В. Н., Ермаков П. Н. Общая характеристика ритмов ЭЭГ человека // Электроэнцефалограмма и функциональные состояния человека.

— Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1998. — С. 48-76. — 264 с. — 300 экз.  
— ISBN 5-7507-0579-2.

22. Батуев, Александр Сергеевич. Физиология высшей нервной деятельности и сенсорных систем [Текст] : учебник / А. С. Батуев. - 3-е изд., испр. и доп. - СПб. : Питер, 2009. - 317 с. : ил. - (Учебник для вузов). - Рек. Советом по психологии УМО. - ISBN 978-5-91180-842-6 : 229-00. Шифр: 28.9 Б 287 11 экз.

23. Навчальні посібники Вінницького національного технічного університету [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – ІРВЦ ВНТУ, 2018. –  
Режим доступу: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/firen/6bilynskyj\\_elektronni\\_systemy/3.htm](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/firen/6bilynskyj_elektronni_systemy/3.htm) (дата звернення 10.05.2019) – Перетворення сигналів та їх спектральні характеристики.

24. Амплітудно-частотна характеристика [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: [https://studopedia.com.ua/1\\_22400\\_amplitudno-chastotna-harakteristika-smuga-propuskannya-i-zagasannya.html](https://studopedia.com.ua/1_22400_amplitudno-chastotna-harakteristika-smuga-propuskannya-i-zagasannya.html) (дата звернення 11.05.2019) – Амплітудно-частотна характеристика, смуга пропускання і загасання.

25. Попов, А.О. Теорія сигналів: методичні вказівки до практичних занять для студентів напряму 6.050801 – мікро- та наноелектроніка / А.О. Попов, О.К. Боділовський, І.П. Голубєва, М.А. Жуков, Є.С. Карплюк, І.Е. Крашений, О.Ю. Панічев, Г.С. Порєва. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 64 с.

26. Лекции.Ком [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Лекции.Ком - 2014-2019. – Режим доступу: <https://lektsii.com/2-41147.html> (дата звернення 10.05.2019) – Фильтрация сигналов. Понятие импульсной характеристики. Типы фильтров.

27. Хелпикс.Орг [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Хелпикс.Орг - 2014-2019 год. – Режим доступу: <https://helpiks.org/5-62036.html> (дата звернення 10.05.2019) – Фільтрація сигналів в частотній області.



28. Шутова С. В. Сенсомоторные реакции как характеристика функционального состояния ЦНС / С. В. Шутова, И. В. Муравьева. // Вестник ТГУ. – 2013. – С. 2831–2840. – ISSN 1810 0198.

29. Бондарев Д. В. Особенности психофизических возможностей студентов, занимающихся спортивными играми / Д. В. Бондарев, В. А. Гальчинский. // Физическое воспитание студентов творческих специальностей. – 2008. – С. 59–64. – ISSN 1993-4335.

30. Веселова Н. Н. Теппинг-тест как инструмент педагогического изучения психофизиологических особенностей реализации студентами учебной деятельности / Н. Н. Веселова. // Среднее профессиональное образование. – 2007. – С. 75–76. – ISSN 1990-679X.

31. Никандров В.В. Психомоторика. Учебное пособие. – СПб.: «Речь». 2004.с.79.

32. Самороднов О. В. Теппинг-тест как индикатор включения релаксационного механизма срочной защиты [Электронный ресурс] / О. В. Самороднов, В. А. Чуев. [Веб-сайт]. – Електронні дані. – [Scientific World – 2010-2019]. – Режим доступа: <https://www.sworld.com.ua/konfer27/380.pdf> (дата звернення 15.05.2019). – Теппинг-тест как индикатор включения релаксационного механизма срочной защиты.

33. Tredex [Электронный ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступа: <http://www.tredex-company.com/ru/content/computer-electroencephalographs-expert-series> (дата звернення 19.04.2019) – Компьютерные электроэнцефалографы серии «Эксперт».

34. MATLAB [Электронный ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – The MathWorks, 1994-2019. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/> (дата звернення 30.04.2019) – MATLAB for Artificial Intelligence.

35. Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури [Электронный ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Кафедра КіВРА, 2019. – Режим доступу: <http://kivra.kpi.ua/wp->

content/uploads/file/discipline/AOTI/AOTI\_2\_4-5.pdf (дата звернення 30.04.2019) – Фільтрація та передавання даних.

36. Visual Studio Team Services [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Microsoft – 2019. – Режим доступу: <https://visualstudio.microsoft.com/ru/?rr=https%3A%2F%2Fmsdn.microsoft.com%2Fuk-ua> (дата звернення 07.05.2019) – Visual Studio.

37. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання / К.Н.Ткачук, М.О.Халімовський, В.В.Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006 – 448 с.

38. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

39. ГОСТ 12.1.002-84. ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.

40. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

## Додаток А

### Нормовані значення вкладів ритмів першого експериментального дослідження

Таблиця А.1 – Нормовані значення вкладів ритмів для кожного з досліджуваних

| № | Ритм      | Ф1 | Ст.1  | Ф2    | Ст.2  | Ф3    | Ст.3   | Ф4    | Ст.4   | Ф5     | Ст.5   | Ф6     |
|---|-----------|----|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | $\delta$  | 0  | -1,65 | -1,69 | -0,46 | -2,10 | -0,52  | -2,52 | -0,91  | -2,13  | -3,12  | -2,11  |
|   | $\theta$  | 0  | 0,62  | 0,06  | 1,22  | -0,57 | 1,83   | -0,32 | 0,20   | 0,69   | 0,10   | 1,35   |
|   | $\alpha$  | 0  | -1,80 | -0,99 | -1,75 | -1,53 | -1,67  | 0,41  | -2,44  | -0,43  | 1,84   | -1,06  |
|   | $\beta_1$ | 0  | 2,35  | 1,76  | 0,43  | 2,58  | 0,36   | 0,89  | 1,45   | -0,71  | -0,20  | -0,17  |
|   | $\beta_2$ | 0  | 0,48  | 0,84  | 0,57  | 1,63  | 0,00   | 1,53  | 1,71   | 2,58   | 1,39   | 1,98   |
| 2 | $\delta$  | 0  | 2,85  | 0,52  | 0,04  | 1,65  | 0,37   | 2,79  | 0,79   | 2,09   | 1,09   | -0,04  |
|   | $\theta$  | 0  | 0,02  | -0,19 | 0,59  | 0,88  | 1,38   | 0,40  | 2,10   | 1,60   | 2,12   | 0,88   |
|   | $\alpha$  | 0  | -3,68 | -0,72 | -0,68 | -1,31 | -3,01  | -3,74 | -2,25  | -2,96  | -3,87  | -1,20  |
|   | $\beta_1$ | 0  | 0,21  | -0,02 | 0,22  | -0,47 | 1,30   | 0,02  | 0,22   | -0,09  | -0,31  | 0,59   |
|   | $\beta_2$ | 0  | 0,59  | 0,41  | -0,16 | -0,73 | -0,02  | 0,53  | -0,85  | -0,63  | 0,98   | -0,23  |
| 3 | $\delta$  | 0  | -0,78 | -0,90 | -0,98 | -1,45 | -1,50  | -0,07 | -1,31  | 0,05   | 0,93   | -1,50  |
|   | $\theta$  | 0  | -0,04 | 1,98  | 0,07  | 1,49  | 2,46   | -0,06 | -0,50  | 1,22   | 2,57   | 0,62   |
|   | $\alpha$  | 0  | -0,41 | -1,88 | -1,46 | -2,09 | -2,79  | -3,85 | -0,09  | -4,06  | -8,82  | -1,76  |
|   | $\beta_1$ | 0  | 0,94  | 0,12  | 1,37  | 0,67  | 1,33   | 1,36  | 0,63   | 0,98   | 2,06   | 2,20   |
|   | $\beta_2$ | 0  | 0,28  | 0,67  | 1,01  | 1,41  | 0,49   | 2,62  | 1,27   | 1,81   | 3,26   | 0,45   |
| 4 | $\delta$  | 0  | -0,36 | 0,82  | 0,41  | 2,00  | 1,53   | 3,49  | -0,24  | -0,34  | -0,88  | 1,61   |
|   | $\theta$  | 0  | 1,44  | -0,40 | 0,52  | 0,97  | 0,87   | 0,98  | -1,69  | -0,62  | -0,18  | -0,68  |
|   | $\alpha$  | 0  | -3,27 | -0,26 | -3,41 | -5,50 | -6,23  | -5,19 | 2,47   | -1,71  | -2,40  | -3,43  |
|   | $\beta_1$ | 0  | 1,91  | -0,52 | 1,45  | 1,76  | 1,91   | 0,14  | -0,18  | 0,61   | 3,84   | 1,66   |
|   | $\beta_2$ | 0  | 0,28  | 0,36  | 1,04  | 0,80  | 1,93   | 0,57  | -0,37  | 2,06   | -0,38  | 0,84   |
| 5 | $\delta$  | 0  | 0,97  | 2,28  | -0,39 | 3,18  | 4,45   | 2,82  | 8,15   | 7,18   | 2,91   | 2,15   |
|   | $\theta$  | 0  | 0,55  | -0,10 | 1,16  | 2,19  | 2,65   | 5,14  | 5,36   | 6,25   | 4,93   | 4,32   |
|   | $\alpha$  | 0  | -1,84 | -2,11 | -1,83 | -7,36 | -10,95 | -11,8 | -17,07 | -15,68 | -16,53 | -11,34 |
|   | $\beta_1$ | 0  | 0,11  | 0,05  | 0,70  | 1,21  | 2,29   | 3,08  | 2,71   | 1,52   | 7,86   | 2,84   |
|   | $\beta_2$ | 0  | 0,22  | -0,12 | 0,35  | 0,78  | 1,57   | 0,81  | 0,84   | 0,73   | 0,83   | 2,04   |

## Додаток Б

### Код програмної реалізації фільтрації аудіостимулу

```
clc; clear all; close all;
load handel.mat
slCharacterEncoding('windows-1251');

file='Е:\Диплом\БЕГ\Музика\Щедрик.wav';
[y,Fs]=audioread(file);

% Початковий сигнал
t=1/Fs:1/Fs:length(y)/Fs;
y_fft=abs(fft(y));
y_fft=y_fft(1:length(y)/2);
f=0:Fs/length(y):Fs/2-Fs/length(y);

figure(1)
plot(f, y_fft);
xlim([0 5000])
xlabel('Частота, Гц', 'FontName','Arial Cyr')
ylabel('Амплітуда', 'FontName','Arial Cyr')
title('Частотна характеристика', 'FontName','Arial Cyr')

Fn = Fs/2;
Wp1=[260, 760]/Fn; Wp2=[761, 1260]/Fn; Wp3=[1261, 1760]/Fn; Wp4=[1761, 2260]/Fn; Wp5=[2261, 2760]/Fn;
Ws1=[250, 770]/Fn; Ws2=[751, 1270]/Fn; Ws3=[1251, 1770]/Fn; Ws4=[1751, 2270]/Fn; Ws5=[2251, 2770]/Fn;
Rp = 1;
Rs = 150;

%Фільтрація від 260 до 760 Гц

[n1,ws1] = cheb2ord(Wp1,ws1,Rp,Rs);
[z1,p1,k1] = cheby2(n1,Rs,ws1);
[soslp1,glp1] = zp2sos(z1,p1,k1);
filtered_sound1 = filtfilt(soslp1, glp1, y);
filename1 = 'Shchedryk_260_760.wav';
audiowrite (filename1, filtered_sound1, Fs);

t1=1/Fs:1/Fs:length(filtered_sound1)/Fs;
filtered_sound_fft1=abs(fft(filtered_sound1));
filtered_sound_fft1=filtered_sound_fft1(1:length(filtered_sound1)/2);
f1=0:Fs/length(filtered_sound1):Fs/2-Fs/length(filtered_sound1);

figure (2)
subplot (5, 1, 1);
plot (f1, filtered_sound_fft1);
xlim([0 3000])
xlabel('Частота, Гц', 'FontName','Arial Cyr')
ylabel('Амплітуда', 'FontName','Arial Cyr')
title('Частотна характеристика (260-760 Гц)', 'FontName','Arial Cyr')

%Фільтрація від 761-1260 Гц
```

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БМ51.01.2705.1404.ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                      |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                      | 60   |

```

[n2,Ws2] = cheb2ord(Wp2,Ws2,Rp,Rs);
[z2,p2,k2] = cheby2(n2,Rs,Ws2);
[soslp2,glp2] = zp2sos(z2,p2,k2);
filtered_sound2 = filtfilt(soslp2, glp2, y);
filename2 = 'Shchedryk_761-1260.wav';
audiowrite (filename2, filtered_sound2, Fs);

t2=1/Fs:1/Fs:length(filtered_sound2)/Fs;
filtered_sound_fft2=abs(fft(filtered_sound2));
filtered_sound_fft2=filtered_sound_fft2(1:length(filtered_sound2)/2);
f2=0:Fs/length(filtered_sound2):Fs/2-Fs/length(filtered_sound2);

subplot (5, 1, 2);
plot (f2, filtered_sound_fft2);
xlim([0 3000])
xlabel('Частота, Гц', 'FontName','Arial Cyr')
ylabel('Амплітуда', 'FontName','Arial Cyr')
title('Частотна характеристика (761-1260 Гц)', 'FontName','Arial Cyr')

```

%Фільтрація від 1261 до 1760 Гц

```

[n3,Ws3] = cheb2ord(Wp3,Ws3,Rp,Rs);
[z3,p3,k3] = cheby2(n3,Rs,Ws3);
[soslp3,glp3] = zp2sos(z3,p3,k3);
filtered_sound3 = filtfilt(soslp3, glp3, y);
filename3 = 'Shchedryk_1261_1760.wav';
audiowrite (filename3, filtered_sound3, Fs);

t3=1/Fs:1/Fs:length(filtered_sound3)/Fs;
filtered_sound_fft3=abs(fft(filtered_sound3));
filtered_sound_fft3=filtered_sound_fft3(1:length(filtered_sound3)/2);
f3=0:Fs/length(filtered_sound3):Fs/2-Fs/length(filtered_sound3);

subplot (5, 1, 3);
plot (f3, filtered_sound_fft3);
xlim([0 3000])
xlabel('Частота, Гц', 'FontName','Arial Cyr')
ylabel('Амплітуда', 'FontName','Arial Cyr')
title('Частотна характеристика (1261-1760 Гц)', 'FontName','Arial Cyr')

```

%Фільтрація від 1761 до 2260 Гц

```

[n4,Ws4] = cheb2ord(Wp4,Ws4,Rp,Rs);
[z4,p4,k4] = cheby2(n4,Rs,Ws4);
[soslp4,glp4] = zp2sos(z4,p4,k4);
filtered_sound4 = filtfilt(soslp4, glp4, y);
filename4 = 'Shchedryk_1761_2260.wav';
audiowrite (filename4, filtered_sound4, Fs);

t4=1/Fs:1/Fs:length(filtered_sound4)/Fs;
filtered_sound_fft4=abs(fft(filtered_sound4));
filtered_sound_fft4=filtered_sound_fft4(1:length(filtered_sound4)/2);
f4=0:Fs/length(filtered_sound4):Fs/2-Fs/length(filtered_sound4);

subplot (5, 1, 4);
plot (f4, filtered_sound_fft4);
xlim([0 3000])
xlabel('Частота, Гц', 'FontName','Arial Cyr')
ylabel('Амплітуда', 'FontName','Arial Cyr')
title('Частотна характеристика (1761-2260 Гц)', 'FontName','Arial Cyr')

```

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БМ51.01.2705.1404.ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                      |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                      | 61   |

%Фільтрація від 2261 до 3000 Гц

```
[n5,Ws5] = cheb2ord(Wp5,Ws5,Rp,Rs);
[z5,p5,k5] = cheby2(n5,Rs,Ws5);
[soslp5,glp5] = zp2sos(z5,p5,k5);
filtered_sound5 = filtfilt(soslp5, glp5, y);
filename5 = 'Shchedryk_2261_3000.wav';
audiowrite (filename5, filtered_sound5, Fs);

t5=1/Fs:1/Fs:length(filtered_sound5)/Fs;
filtered_sound_fft5=abs(fft(filtered_sound5));
filtered_sound_fft5=filtered_sound_fft5(1:length(filtered_sound5)/2);
f5=0:Fs/length(filtered_sound5):Fs/2-Fs/length(filtered_sound5);

subplot (5, 1, 5);
plot (f5, filtered_sound_fft5);
xlim([0 3000])
xlabel('Частота, Гц', 'FontName','Arial Cyr')
ylabel('Амплітуда', 'FontName','Arial Cyr')
title('Частотна характеристика (2261-2760 Гц)', 'FontName','Arial Cyr')
```

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БМ51.01.2705.1404.ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                      |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                      | 62   |

## Додаток В

### Код програми для дослідження функціонального стану ЦНС

```
using System.Windows.Forms;
using System.IO;

namespace Clicker
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        Timer timer = new Timer();
        int clickCount = 0;
        int counter = 20;

        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            timer = new Timer();
            timer.Tick += new EventHandler(timer_Tick);
            timer.Interval = 1000;
            lblCountDown.Text = counter.ToString();
        }

        private void timer_Tick(object sender, EventArgs e)
        {
            counter--;
            if (counter == 0)
            {
                timer.Stop();
                btnClicker.Enabled = false;
                lblClicksCount.Text = clickCount.ToString();
                SaveResultToFile();
            }
            lblCountDown.Text = counter.ToString();
        }

        private void SaveResultToFile()
        {
            var filePath = Path.Combine(Environment.CurrentDirectory,
                tbFio.Text + "_" + tbTag.Text + ".txt");
            var streamWriter = File.AppendText(filePath);
            var fioText = tbFio.Text + ": " + clickCount + " кліків";
            var tagText = "Замітка: " + tbTag.Text;
            streamWriter.WriteLine(fioText);
            streamWriter.WriteLine(tagText);
            streamWriter.Close();
        }

        private void BtnClicker_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            if (clickCount == 0)
            {
                timer.Start();
            }
            clickCount++;
        }
    }
}
```

# Додаток Г

## Результати експериментальної перевірки роботи комплексу

Таблиця Г.1 – Вклади ритмів ЕЕГ у лівих відведеннях

| № | Ритм      | 1_0   | 1_1   | 1_2   | 2_0   | 2_1   | 2_2   | 3_0   | 3_1   | 3_2   | 4_0   | 4_1   | 4_2   | 5_0   | 5_1   | 5_2   |
|---|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | $\delta$  | 13,93 | 14,26 | 10,61 | 14,24 | 13,67 | 12,61 | 12,12 | 11,71 | 12,1  | 11,16 | 12,78 | 13,66 | 16,8  | 11,62 | 9,32  |
|   | $\theta$  | 20,93 | 19,88 | 19,11 | 18,96 | 24,15 | 17,12 | 19,64 | 18,87 | 18,99 | 21,26 | 17,35 | 18,99 | 18,85 | 18,42 | 15,41 |
|   | $\alpha$  | 26,16 | 28,84 | 30,7  | 28,11 | 27,09 | 27,47 | 31,35 | 28,76 | 32,42 | 32    | 29,83 | 29,85 | 25,37 | 35,44 | 34,78 |
|   | $\beta_1$ | 15,35 | 14,76 | 17,78 | 14,19 | 14,58 | 18,07 | 15,34 | 15,35 | 14,47 | 14,07 | 17,2  | 14,54 | 16,58 | 11,55 | 13,45 |
|   | $\beta_2$ | 20,24 | 18,28 | 17,66 | 20,59 | 17,12 | 21,17 | 17,51 | 21,6  | 18,32 | 17,35 | 19,3  | 18,99 | 19,3  | 18,56 | 21,73 |
| 2 | $\delta$  | 8,85  | 11,84 | 12,3  | 11,31 | 12,36 | 12,42 | 10,95 | 10,34 | 11,07 | 12,93 | 12,6  | 11,34 | 13,37 | 10,51 | 11,68 |
|   | $\theta$  | 20,74 | 21,01 | 17,57 | 16,55 | 16,16 | 19,65 | 23,91 | 22,03 | 21,36 | 18,46 | 16,54 | 17,77 | 23,39 | 20,76 | 18,61 |
|   | $\alpha$  | 28,39 | 24,34 | 32,04 | 30,35 | 27,71 | 24,96 | 28,56 | 27,98 | 26,15 | 27,47 | 28,06 | 33,44 | 28,36 | 33,55 | 32,08 |
|   | $\beta_1$ | 15,66 | 15,99 | 13,62 | 15,56 | 16,07 | 15,51 | 13,69 | 14,65 | 15,34 | 15,01 | 16,58 | 12,52 | 14,74 | 12,86 | 15,89 |
|   | $\beta_2$ | 21,85 | 23,34 | 19,96 | 21,39 | 23,38 | 23,71 | 19,08 | 20,95 | 22,03 | 22,07 | 22,01 | 20,06 | 16,66 | 18,2  | 17,13 |
| 3 | $\delta$  | 13,37 | 10,6  | 12,52 | 18,45 | 12,08 | 8,71  | 13,94 | 8,42  | 14,29 | 13,05 | 11,28 | 14,61 | 9,82  | 10,35 | 9,94  |
|   | $\theta$  | 14,88 | 16,75 | 13,92 | 16,6  | 20,61 | 17,13 | 15,45 | 16,7  | 16,36 | 18,28 | 16,46 | 19,42 | 16,98 | 19,57 | 19,56 |
|   | $\alpha$  | 27,76 | 32,41 | 32,47 | 29,24 | 34,07 | 33,89 | 37,17 | 33,48 | 31,47 | 30,62 | 33,1  | 28,67 | 36,34 | 33,36 | 34,53 |
|   | $\beta_1$ | 18    | 15,57 | 15,2  | 13,52 | 12,27 | 13,47 | 11,53 | 14,52 | 12,96 | 12,56 | 12,45 | 14,87 | 12,46 | 14,51 | 12,28 |
|   | $\beta_2$ | 21,48 | 20,32 | 21,03 | 18,67 | 16,37 | 22,41 | 17,22 | 21,59 | 20,63 | 21,56 | 22,15 | 18,24 | 19,36 | 17,87 | 19,22 |
| 4 | $\delta$  | 7,88  | 11,1  | 9,04  | 9,33  | 7,3   | 10,76 | 9,23  | 8,18  | 7,47  | 11,21 | 8,91  | 7,22  | 7,63  | 7,61  | 6,09  |
|   | $\theta$  | 13,8  | 14,27 | 16,46 | 16,13 | 12,38 | 13,01 | 10,49 | 11,79 | 12,74 | 14,36 | 15,66 | 13,63 | 12,15 | 12,12 | 13,64 |
|   | $\alpha$  | 41,43 | 37,18 | 35,27 | 37,82 | 42,25 | 37,23 | 41,99 | 43,57 | 42,46 | 36,95 | 37,3  | 38,87 | 42,85 | 42,32 | 40,21 |
|   | $\beta_1$ | 11,96 | 12,73 | 14,6  | 12,94 | 11,95 | 13,27 | 12,23 | 11,62 | 11,47 | 12,15 | 13,11 | 12,3  | 12,88 | 12,02 | 13,03 |
|   | $\beta_2$ | 19,13 | 19,75 | 19,85 | 18,56 | 20,68 | 20,44 | 19,79 | 18,81 | 19,76 | 20,27 | 19,9  | 22,78 | 18,47 | 19,89 | 21,34 |
| 5 | $\delta$  | 13,54 | 18,69 | 12,57 | 12,67 | 11,42 | 13,94 | 14,48 | 12,16 | 13,92 | 14,62 | 13,83 | 14,49 | 14,09 | 15,28 | 10,4  |
|   | $\theta$  | 18,43 | 21,63 | 18,87 | 14,33 | 18,6  | 15,45 | 22,89 | 17,62 | 16,75 | 17,75 | 25,34 | 19,71 | 16,98 | 17,53 | 17,51 |
|   | $\alpha$  | 30,28 | 21,96 | 30,38 | 32,02 | 28,66 | 37,17 | 25,53 | 30,49 | 28,32 | 30,43 | 20,13 | 26,48 | 29,08 | 28,32 | 33,51 |
|   | $\beta_1$ | 15,9  | 16,38 | 16,52 | 17,55 | 18,03 | 11,53 | 15,14 | 16    | 17,62 | 14,82 | 15,89 | 15,97 | 15,54 | 14,92 | 15,2  |
|   | $\beta_2$ | 18,05 | 18,45 | 18,04 | 19,18 | 19,41 | 17,22 | 18,19 | 19,76 | 20,04 | 18,82 | 21,94 | 19,9  | 20,86 | 20,27 | 19,29 |



Таблиця Г.2 – Вклади ритмів ЕЕГ у правих відведеннях

| № | Ритм      | 1_0   | 1_1   | 1_2   | 2_0   | 2_1   | 2_2   | 3_0   | 3_1   | 3_2   | 4_0   | 4_1   | 4_2   | 5_0   | 5_1   | 5_2   |
|---|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | $\delta$  | 12,17 | 12,95 | 11,35 | 14,5  | 14,24 | 14,42 | 10,6  | 13,75 | 13,3  | 11,96 | 13,99 | 12,7  | 16,99 | 12,88 | 10,5  |
|   | $\theta$  | 21,28 | 18    | 20,07 | 19,59 | 21,63 | 18,13 | 18,42 | 16,5  | 18,59 | 20,8  | 15,97 | 19,82 | 18,6  | 16,08 | 17,45 |
|   | $\alpha$  | 26,46 | 31,87 | 29,77 | 31,12 | 29,92 | 26,53 | 34,04 | 29,78 | 28,82 | 32,81 | 30,6  | 30,07 | 26,68 | 35,69 | 32,63 |
|   | $\beta_1$ | 16,28 | 14,88 | 18,56 | 16,01 | 14,25 | 16,82 | 14,83 | 16,22 | 15,72 | 14,43 | 17,34 | 15,92 | 16,42 | 12,07 | 16,78 |
|   | $\beta_2$ | 20,48 | 18,68 | 16,76 | 15,21 | 16,44 | 20,67 | 17,89 | 19,93 | 19,59 | 16,13 | 18,19 | 17,85 | 17,65 | 18,82 | 18,7  |
| 2 | $\delta$  | 10,83 | 12,68 | 12,52 | 13,33 | 13,49 | 11,08 | 11,04 | 9,99  | 11,93 | 11,39 | 13,17 | 11,68 | 12,75 | 9,41  | 15,01 |
|   | $\theta$  | 19,68 | 20,05 | 16,39 | 17,21 | 16,18 | 19,2  | 21,94 | 21,66 | 19,5  | 15,86 | 18,4  | 18,05 | 20,73 | 22,68 | 19,19 |
|   | $\alpha$  | 26,52 | 27,12 | 31,84 | 31,11 | 27,82 | 25,83 | 29,97 | 27,94 | 26,49 | 28,95 | 27,73 | 32,85 | 29,81 | 33,41 | 29,88 |
|   | $\beta_1$ | 16,93 | 14,31 | 16,05 | 15,15 | 16,59 | 16,97 | 13,75 | 16,4  | 16,31 | 17,88 | 16,87 | 13,63 | 16,89 | 13,7  | 17,51 |
|   | $\beta_2$ | 22,2  | 22,02 | 18,58 | 19,15 | 22,19 | 23,34 | 19,4  | 20,2  | 22,21 | 21,81 | 19,6  | 19,4  | 16,26 | 16,42 | 15,09 |
| 3 | $\delta$  | 13,01 | 11,47 | 14,07 | 18,77 | 12,89 | 8,74  | 12,81 | 7,13  | 10,3  | 12,92 | 9,53  | 12,21 | 7,27  | 11,38 | 9,03  |
|   | $\theta$  | 15,78 | 16,88 | 15,49 | 16,87 | 19,05 | 16,31 | 13,88 | 17,88 | 15,05 | 17,89 | 14,76 | 18,79 | 15,06 | 20,46 | 20,91 |
|   | $\alpha$  | 26,3  | 28,55 | 29,89 | 25,7  | 32,49 | 33,15 | 37,54 | 31,15 | 33,39 | 28,73 | 32,66 | 25,64 | 35,18 | 29,66 | 32,7  |
|   | $\beta_1$ | 16,75 | 16,58 | 14,18 | 15,34 | 12,86 | 13,85 | 12,72 | 13,58 | 15,75 | 14,77 | 12,22 | 18,08 | 14,02 | 15,13 | 12,54 |
|   | $\beta_2$ | 24,45 | 22,32 | 21,71 | 19,52 | 18,71 | 22,53 | 17,65 | 25,67 | 20,7  | 21,71 | 25,65 | 21,72 | 23,07 | 19,18 | 20,1  |
| 4 | $\delta$  | 7,3   | 9,27  | 8,2   | 7,59  | 5,69  | 8,9   | 6,38  | 6,33  | 6,13  | 8,6   | 7,9   | 5,73  | 5,18  | 8,31  | 7,65  |
|   | $\theta$  | 14,02 | 13,13 | 16,6  | 13,79 | 11,24 | 12,67 | 11,32 | 11,8  | 11,3  | 12,88 | 13,73 | 12,47 | 10,96 | 12,02 | 12,86 |
|   | $\alpha$  | 41,36 | 38,22 | 37,18 | 40,86 | 43,2  | 40,38 | 43,47 | 43,54 | 41,98 | 39,65 | 39,95 | 39,98 | 43,47 | 38,79 | 38,88 |
|   | $\beta_1$ | 11,88 | 13,17 | 13,46 | 12,41 | 12,74 | 12,38 | 12,58 | 12,47 | 12,92 | 11,58 | 12,88 | 14,22 | 14,21 | 12,89 | 13,6  |
|   | $\beta_2$ | 19,92 | 20,91 | 19,41 | 19,67 | 20,35 | 20,25 | 19,82 | 20,1  | 21,79 | 21,83 | 19,99 | 21,32 | 20,22 | 22,52 | 21,58 |
| 5 | $\delta$  | 12,82 | 15,95 | 11,8  | 11,62 | 11,1  | 9,31  | 13,24 | 11,88 | 13,83 | 13,9  | 15,35 | 14,03 | 13,1  | 12,75 | 11,04 |
|   | $\theta$  | 18,65 | 21,45 | 17,27 | 13,04 | 17,48 | 15,9  | 22,75 | 17,07 | 17,1  | 18,26 | 26,19 | 20,7  | 15,83 | 16,38 | 15,5  |
|   | $\alpha$  | 31,72 | 24,24 | 31,75 | 34,43 | 28,62 | 32,15 | 26    | 32,58 | 24,96 | 29,94 | 22,3  | 27,29 | 26,3  | 30,53 | 32,24 |
|   | $\beta_1$ | 14,9  | 16,53 | 16,3  | 17,18 | 20,02 | 16,96 | 15,15 | 14,94 | 18,4  | 15,09 | 13,14 | 15,61 | 19,28 | 16,45 | 15,77 |
|   | $\beta_2$ | 17,82 | 18,97 | 18,52 | 19,06 | 19,07 | 21,17 | 19,3  | 19,09 | 21,96 | 19,03 | 20,55 | 18,93 | 21,76 | 19,77 | 20,86 |

Таблиця Г.3 – Нормовані результати модифікованого теппінг-тесту

|           | До_сер | Ст1_1 | Ст1_2 | Ст2_1 | Ст2_2 | Ст3_1 | Ст3_2 | Ст4_1 | Ст4_2 | Ст5_1 | Ст5_2 |
|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Дослідж.1 | 0      | -8    | -5    | -1    | -5    | -6    | -11   | -12   | -12   | -20   | -8    |
| Дослідж.2 | 0      | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 7     | 3     | 5     | 2     | 6     |
| Дослідж.3 | 0      | 2     | 1     | 1     | 0     | -3    | 0     | 0     | 2     | -2    | 0     |
| Дослідж.4 | 0      | -8    | -3    | -5    | 3     | -8    | -4    | -8    | -3    | -5    | 0     |
| Дослідж.5 | 0      | 5     | 0     | 1     | 0     | 2     | 0     | 1     | 0     | 3     | 0     |